№114/2026

Znanstvena misel journal

The journal is registered and published in Slovenia.

ISSN 3124-1123

VOL.1

The frequency of publication – 12 times per year.

Journal is published in Slovenian, English, Polish, Russian, Ukrainian.

The format of the journal is A4, coated paper, matte laminated cover.

All articles are reviewed

Edition of journal does not carry responsibility for the materials published in a journal.

Sending the article to the editorial the author confirms it's uniqueness and takes full responsibility for possible consequences for breaking copyright laws

Free access to the electronic version of journal

Chief Editor – Christoph Machek

The executive secretary - Damian Gerbec

Dragan Tsallaev — PhD, senior researcher, professor

Dorothea Sabash — PhD, senior researcher

Vatsdav Blažek — candidate of philological sciences

Philip Matoušek — doctor of pedagogical sciences, professor

Alicja Antczak — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

Katarzyna Brzozowski — PhD, associate professor

Roman Guryev — MD, Professor

Stepan Filippov — Doctor of Social Sciences, Associate Professor

Dmytro Teliga — Senior Lecturer, Department of Humanitarian and Economic Sciences

Anastasia Plahtiy — Doctor of Economics, professor

Znanstvena misel journal

Slovenska cesta 8, 1000 Ljubljana, Slovenia

Email: info@znanstvena-journal.com

Website: www.znanstvena-journal.com

CONTENT

CHEMISTRY

Ismayilova S., Muxtarova N.
UTILIZATION OF PLANT WASTE FOR FERTILIZER PRODUCTION 4

ECONOMICS

Tsend Chuluuntsetseg, Tudev Dorj, Geserbaatar Batmunkh, Tsenddorjin Dolgorsuren
STATE POLICY REGULATION ON THE DEVELOPMENT OF SMALL AND MEDIUM ENTERPRISES AND SERVICES / THE CASE OF MONGOLIA/ 10

MEDICAL SCIENCES

Bukach O., Benitska M., Kolbun N., Zozulia Y.
THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CLINICAL PRACTICE.....14

PEDAGOGICAL SCIENCES

Balasanian O.
THE CRISIS OF TRADITIONAL ACADEMIC WRITING IN THE DIGITAL ECOSYSTEM: TRANSFORMING TEACHING METHODOLOGY AMID GENERATIVE AI EXPANSION.17

Orujov Y., Nagiyev K., Abishov N.
VISUAL AND GRAPHIC METHODS IN TEACHING AMINO ACIDS: THE ROLE OF MODELS AND SCHEMES 20

Herganov L.
CURRENT CHALLENGES AND PROSPECTS OF IN-COMPANY TRAINING FOR MARITIME PROFESSIONALS IN THE POST-WAR PERIOD IN UKRAINE 28

PHILOLOGY

Abuova A.
THEORETICAL AND PRAGMATIC FOUNDATIONS OF THE CONCEPT OF TRANSLATION TRANSFORMATION AND ITS STUDY IN TRANSLATION STUDIES 32

PHYSICS AND MATHEMATICS

Milyute E., Milyus A.
SCATTERING OF VORTEX DIPOLES IN AN IDEAL FLUID: DEPENDENCE OF THE OUTCOME ON THE IMPACT PARAMETER 39

SOCIAL SCIENCES

Ndaw M.Ch.I., Sane B., Diop F.
PRODUCTION AND MANAGEMENT METHODS OF DOMESTIC WASTEWATER IN THE DEPARTMENT OF NIORO DU RIP 45

TECHNICAL SCIENCES

Chyzhmotria M., Panarina I., Chyzhmotria O., Chyzhmotria O., Dmytrenko I.
COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF ALGORITHMS FOR SOLVING CLASSIC AND MODIFIED RESOURCE ALLOCATION PROBLEMS OF A MANUFACTURING ENTERPRISE 56
Danilyan A.
KINEMATIC DIAGRAM OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE WITH AN OFFSET CRANKSHAFT AS AN ALTERNATIVE TO V- CONFIGURATIONS 59
Davrishova I., Rzayev S.
THE OPERATION OF DIFFERENTIAL PIEZOELECTRIC SWITCHES AND THE TRANSMISSION OF INFORMATION OVER RADIOFREQUENCY BANDS AND FIBER OPTIC CABLES USED IN THEIR RESEARCH. 65
Henchev V.
REGULATING THE VISCOSITY OF OIL – AN INNOVATIVE SOLUTION IN ADVANCED ENERGY EFFICIENCY OF MEDIUM-SPEED DIESEL ENGINES 72
Kramarenko V., Startsev O.
INTEGRATION OF ECDIS, AIS AND ARPA IN MODERN SHIP NAVIGATION INFORMATION SYSTEMS: PROBLEMS AND PROSPECTS 74
Lykhoglyad K.
THE SHIP`S STATIONARY CARBON ACID FIREFIGHTING SYSTEM - LEGACIES OF LATE CO_2 RELEASE.....77
Palagin O.
FUEL PROCESSING AND USE ON BOARD SHIPS 81

CHEMISTRY

UTILIZATION OF PLANT WASTE FOR FERTILIZER PRODUCTION

Ismayilova S.
Azerbaijan State Oil and Industry University, Associate Professor, Candidate of Chemical Sciences
ORCID 0000-0002-5558-829X
Muxtarova N.
Azerbaijan State Oil and Industry University, Master
ORCID 0009-0008–4716-1836
DOI: 10.5281/zenodo.20457611

Abstract

In this study, pistachio waste, vegetable residues, and grass biomass were processed using a rapid composting method. The main goal was to evaluate the alterations in physical and chemical parameters during the composting process. It also focused on determining the quality level of the final compost products. The process was carried out under aerobic conditions. The results showed that all piles of compost passed the normal mesophilic and thermophilic stages. All samples reached a stable maturation phase. Variations in humidity, pH, and nutrient content depended on the raw ingredients used. The final compost showed characteristics of maturing compost, such as dark color and homogeneous structure.

Keywords: composting; plant waste; organic waste management; agricultural residues; soil fertility.

Introduction

Plant waste is one of the main kinds of organic waste generated on a massive scale in modern times as a result of agricultural, food industry, and urban activities. As pointed out in the scientific literature, these wastes are considered not only an environmental problem but also a biological resource with significant potential. Studies show that the volume of plant residues generated during global agricultural production can be measured in billions of tons. However, a significant portion of these residues continue to be used inefficiently. The generation of plant waste takes place across various sectors, and its quantity varies depending on the intensity of economic activities [5].

The largest percentage belongs to the agricultural sector. During crop production, lots of residues are generated after harvesting. These include wheat and barley straw, corn stalks, rice husks, sunflower stems, cotton residues, and other lignocellulosic materials. The agricultural industry and agro-processing enterprises are also important sources of plant waste. During the processing of fruits and vegetables, peels, seeds, pulp, and other organic residues are generated. These wastes are characterized by high moisture content and rapid biodegradability. According to FAO data, approximately one-third of the food produced globally is recorded as loss and waste, a large percentage of which consists of plant-derived residues. In Azerbaijan, plant waste is often classified as “non-hazardous industrial waste” or as the biological fraction of municipal solid waste. According to recent statistics, the amount of waste generated over the years is as follows:

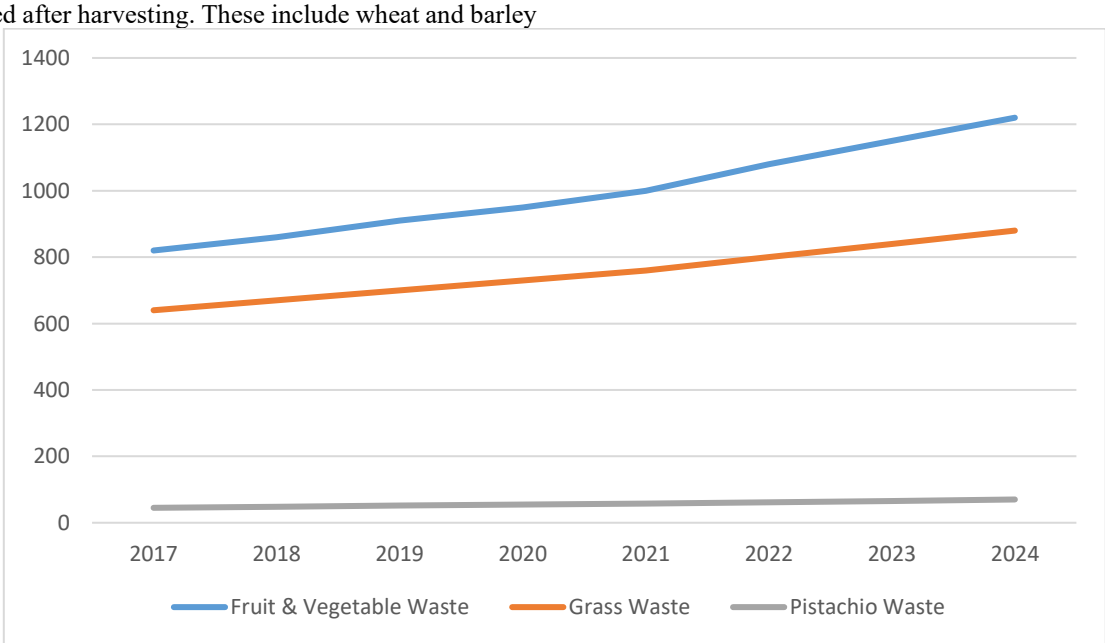


Figure 1. Annual generation of plant waste by type. The blue line represents fruit and vegetable waste, the orange line indicates grass waste, and the green line shows pistachio waste.

The utilization of plant waste depends directly on its physical, chemical, and biological properties. In Azerbaijan's agricultural sector, the significant amount of plant waste generated requires this resource to be considered not merely as waste, but as a "strategic raw material."

Traditional disposal techniques such as landfilling and incineration are not considered efficient. Moreover, they do not provide any significant economic benefits. According to research, plant waste mainly consists of hemicellulose, cellulose, and lignin. While cellulose and hemicellulose are relatively easy to decompose, lignin has a more complex structure and slows down the biodegradation process [10]. This property is one of the key factors in selecting appropriate biological treatment methods. Composting is one of the fastest and safest ways to return this material to the nutrient cycle [4].

Composting is a process in which organic waste is converted into a useful product under aerobic conditions through the activity of microorganisms. Compost improves moisture retention, enhances infiltration, and increases soil hydraulic conductivity. There is general agreement in the literature that compost stimulates plant growth, improves flowering and fruiting, and enhances the presence of beneficial microorganisms in the soil. Composting occurs in two main stages: the mesophilic stage (25–45 °C) and the thermophilic stage (45–85 °C). These stages are driven by the activity of microorganisms such as bacteria, fungi, and actinomycetes, which act according to environmental physical and biochemical conditions [1,12]. During the composting process, complex organic molecules undergo various transformations because of microbial degradation. The duration of conventional composting typically ranges from 90 to 120 days, depending on the raw materials, method, and degree of stabilization and maturity.

The "Berkeley method" allows compost to be made in approximately three weeks. This method requires several initial conditions: the particle size of raw materials should be between 1.3 and 4 cm (approximately 0.5–1.5 inches), the carbon-to-nitrogen (C:N) ratio should be around 30:1, the moisture content should be maintained at about 50%, and the compost pile dimensions should be approximately 1.0 × 1.0 × 1.0 meters.

Experimental

In this study, pistachio shells, different types of fruit and vegetable peels (such as apples, bananas, potatoes, etc.), and grass waste were used. These materials are considered suitable for raw materials for composting due to their high organic matter content.

The composting procedure was carried out under laboratory conditions using small-scale containers. The materials used were pre-shredded before the process.

Figure 2. Homogenization of plant waste materials using a laboratory homogenizer during the experimental process

Pistachio shells were mixed with straw to improve structure and ensure proper aeration. A homogenizer was used to reduce the particle size of the materials.

Each type of waste was composted separately in individual containers. During the composting process, the moisture content was maintained at approximately 50–60%. For this purpose, small amounts of water were added to the mixtures every 2–3 days.

To maintain aerobic conditions and ensure sufficient oxygen supply, the compost mixtures were turned twice a week, approximately every 3–4 days. This also contributed to a more uniform decomposition process [2,9].

The total composting period lasted 4 weeks (28 days). The first 7 days represented the initial active decomposition stage, followed by an intensive biological decomposition phase from day 7 to day 21. The final stage, from day 21 to day 28, was the stabilization phase.

At the end of the process, all three samples resulted in dark-colored, homogeneous, soil-like compost.

Figure 3. Shredded waste materials used in the study (dry grass, dry pistachio shells, wet pistachio shells, fresh grass, and fruit and vegetable waste) in transparent bags.

Figure 4. Compost preparation process showing sequential layering of soil, waste, and soil in the experimental setup.

During the study, the obtained compost samples were first dried at 65 °C. The samples were then grounded in a laboratory mill to a particle size of 1 mm for analysis and stored in transparent plastic bags. The prepared samples were analyzed using an organic element analyzer and an ICP spectrometer.

For the determination of pH and electrical conductivity (EC), 1 g of each compost sample was mixed with 5 mL of distilled water (1:5 ratio). The mixture was shaken on a shaker for 30 minutes, after which pH and EC values were measured.

pH measurements were carried out using a Mettler Toledo pH meter, while electrical conductivity was determined using a Mettler Toledo conductivity meter. The moisture content of the samples was determined by drying them at 105 °C for approximately 24 hours.

The total carbon (C), hydrogen (H), and nitrogen (N) contents in both raw materials and compost samples were determined using an elemental analyzer.

Aluminum foil containers were used for sampling, and 2.5–3.5 g of each sample was taken. The analytical process was carried out based on a modified Dumas method using the principle of dynamic combustion. This process lasted approximately 13 minutes, and the determination of carbon, hydrogen, nitrogen, and sulfur was performed at 950 °C. The oxygen content was determined using the pyrolysis method [7].

During ICP-OES analysis, argon and nitrogen gases were used. Argon gas was employed to generate a high-temperature plasma environment. When the samples were introduced into this plasma, the elements within them became excited and emitted light at characteristic wavelengths.

The emitted optical spectrum was measured using an ICP-OES optical emission spectrometer, allowing the determination of macro- and microelements as well as heavy metal concentrations in the samples.

Results and discussion

During the grass composting process, mass loss was calculated during the conversion of waste into compost. Initially, a compost pile consisting of 120 g of raw material (fresh green grass and straw) was prepared. After a 20-day rapid composting process, the mass decreased to 70.8 g. This indicates a significant reduction in mass and demonstrates the efficiency of the process.

At the end of the composting process, characteristics typical of mature compost were observed in all samples, including stabilized temperature, fine texture, dark brown or black color, and a homogeneous structure.

Table 1.

Elemental composition (macro- and microelements and heavy metals) of pistachio, vegetable and fruit, and grass compost samples (mg kg^{-1})

	Total Al (mg kg^{-1})	Total B (mg kg^{-1})	Total Ca (mg kg^{-1})	Total Cd (mg kg^{-1})	Total Co (mg kg^{-1})	Total Cr (mg kg^{-1})	Total Cu (mg kg^{-1})	Total Fe (mg kg^{-1})	Total K ((mg kg^{-1})	Total Mg (mg kg^{-1})	Total Mn (mg kg^{-1})
Pistachio compost	82.1	1.8	1004	0.0	0.2	0.4	0.5	840.6	777.4	126.6	2.7
Vegetable and fruit compost	27.26.1	1.3	1961	0.0	0.3	0.9	0.8	246.3	837.2	220.6	6.4
Grass compost	7361.1	0.3	906.2	0.0	0.0	0.2	0.3	50.7	370.5	93.2	2.4

The concentrations of macroelements, microelements, and heavy metals in pistachio compost, vegetable and fruit compost, and grass compost are presented in Table 1. The results indicate noticeable differences in elemental composition depending on the type of raw material used.

Vegetable and fruit compost showed the highest calcium (Ca) content (1961 mg kg^{-1}), as well as relatively high magnesium (Mg) and manganese (Mn) levels. Pistachio compost exhibited higher iron (Fe) and potassium (K) concentrations compared to the other samples. In contrast, grass compost was characterized by a significantly higher aluminum (Al) content (7361.1 mg kg^{-1}), while most other elements were present in lower amounts.

Cadmium (Cd) was not detected in any of the samples, indicating the absence of this toxic heavy metal. Other heavy metals such as cobalt (Co), chromium (Cr), and copper (Cu) were found only in very low concentrations.

Overall, the results demonstrate that the elemental composition of compost strongly depends on the source material, which in turn influences its potential application in agriculture.

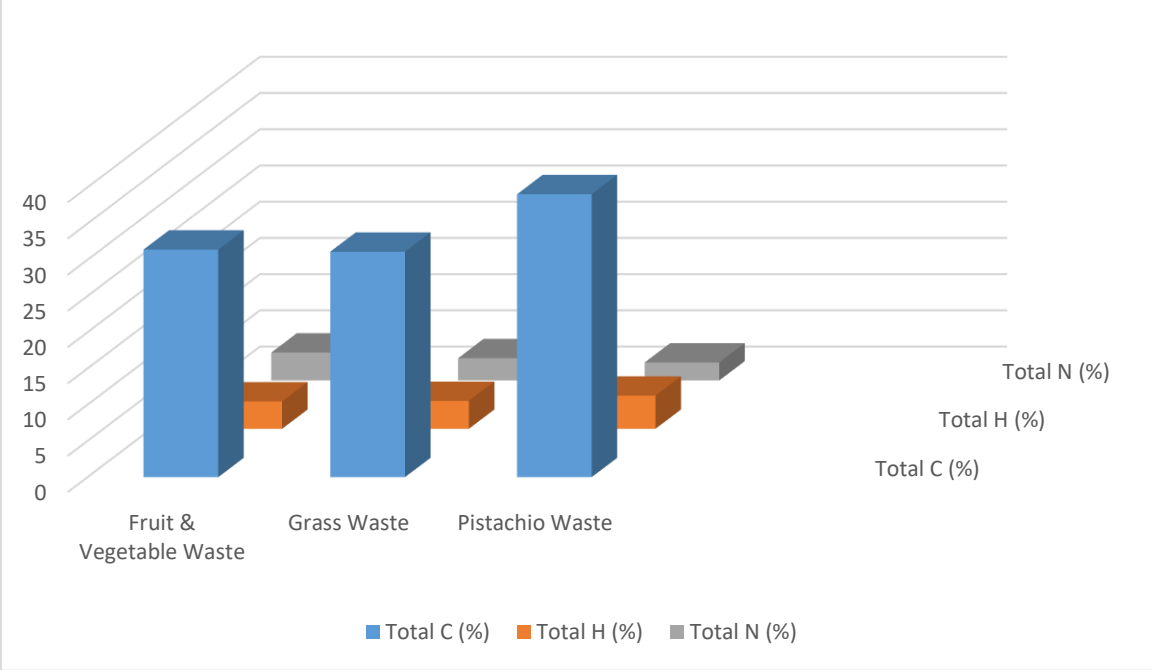


Figure 5. Carbon, hydrogen, and nitrogen contents in pistachio, vegetable and fruit, and grass compost samples.

The diagram presents a comparison of total carbon (C), hydrogen (H), and nitrogen (N) contents in pistachio compost, fruit and vegetable compost, and grass compost. The results show that carbon content was highest in pistachio compost (39.05%) and lower in fruit and vegetable compost (31.41%) and grass compost (31.12%). Hydrogen content followed a similar trend, with pistachio compost having the highest value (4.57%), while fruit and vegetable compost (3.78%) and grass compost (3.85%) showed slightly lower values.

In contrast, nitrogen content was highest in grass compost (3.08%), followed by pistachio compost (2.48%) and fruit and vegetable compost (2.14%). These differences indicate that the elemental composition of compost varies depending on the raw materials used, with pistachio compost being richer in carbon and hydrogen, while grass compost contains a higher proportion of nitrogen.

Moisture content in the different compost types ranged from 9% to 47%. The lowest moisture value (9%) was observed in compost prepared from vegetable and fruit waste. The highest moisture content (47%) was recorded in the compost produced from a mixture of pistachio solid waste and wet pistachio shells (50:50 ratio).

The pH values of pistachio and vegetable composts were within the range of 6–8.5, which corresponds to the acceptable standard range. The pH of these samples was close to neutral, varying between 7.8 and 7.9. However, the grass compost showed a slightly higher pH value (pH = 8.6), which slightly exceeded the recommended level.

Neutral or slightly alkaline pH values indicate that the compost has reached a stable condition.

Temperature variation during composting ranged from 22–62 °C in pistachio compost, 30–65 °C in vegetable compost, and 35–72 °C in grass compost.

In conclusion, the study demonstrates that different plant-based wastes can be successfully converted into stable and high-quality compost through the composting process. The physical and chemical parameters confirm that the obtained products are suitable for agricultural applications.

References

1. Bhatia, S. K., Kumar, B., & Mehariya, S. (Eds.). (2025). *Agriculture-bioenergy nexus: Transforming waste into wealth*. Woodhead Publishing.

2. Bernal, M. P., Alburquerque, J. A., & Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology*, 100(22), 5444–5453.

3. Diaz, L. F., De Bertoldi, M., & Bidlingmaier, W. (Eds.). (2011). *Compost science and technology* (Vol. 8). Elsevier.

4. Epstein, E. (2011). *Industrial composting: Environmental engineering and facilities management*. Taylor and Francis Group.

5. FAO. (2022). *Food loss and waste and sustainable food systems*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

6. Haug, R. T. (1993). *The practical handbook of compost engineering*. CRC Press.

7. Mladenov, M. (2018). Chemical composition of different types of compost. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 53(4), 712–716.

8. Sáez, J. A., Pedraza Torres, A. M., Blesa Marco, Z. E., Andreu-Rodríguez, F. J., Marhuenda-Egea, F. C., Martínez-Sabater, E., et al. (2022). The effects of agricultural plastic waste on the vermicompost process and health status of *Eisenia fetida*. *Agronomy*, 12(10), 2547.

9. Ufitikirezi, J. D. D. M., Filip, M., Ghorbani, M., Zoubek, T., Olšan, P., Bumbálek, R., et al. (2024). Agricultural waste valorization: Exploring environmentally friendly approaches to bioenergy conversion. *Sustainability*, 16(9), 3617.

10. Urra, J., Alkorta, I., & Garbisu, C. (2019). Potential benefits and risks for soil health derived from the

use of organic amendments in agriculture. *Agronomy*, 9(9), 542.

11. Wu, H., Lai, C., Zeng, G., Liang, J., Chen, J., Xu, J., et al. (2017). The interactions of composting and biochar and their implications for soil amendment and pollution remediation: a review. *Critical Reviews in Biotechnology*, 37(6), 754–764.

12. Yin, J., Xie, M., Yu, X., Feng, H., Wang, M., Zhang, Y., & Chen, T. (2024). A review of the definition, influencing factors, and mechanisms of rapid composting of organic waste. *Environmental Pollution*, 342, 123125.

ECONOMICS

STATE POLICY REGULATION ON THE DEVELOPMENT OF SMALL AND MEDIUM ENTERPRISES AND SERVICES / THE CASE OF MONGOLIA/

Tsend Chuluuntsetseg
Doctor of Economic Sciences, (Ph.D), UFE
Tudev Dorj
Academician, Doctor of Economic Sciences (Sc.D), Prof., UBEU
Geserbaatar Batmunkh
Master of Education, (MA), UFE
Tsenddorjin Dolgorsuren
Doctor of Economic Sciences (Sc.D), Prof., UBEU
DOI: 10.5281/zenodo.20457632

Abstract

The development of small and medium-sized enterprises (SMEs) and services plays a crucial role in the socio-economic development of a country. This paper reviews the policies and regulations of the Mongolian government in this area. For instance, in implementing the goals of Mongolia's long-term development policy, "Vision 2050," the government has adopted specific SME development policies, amended the SME Support Law, and established a loan guarantee fund for SMEs. The article concludes with suggestions and recommendations for improving SME development in Mongolia.

Keywords: Vision 2050; SME Support Law; industrial park; New Revival Policy; SME Development Fund; loan guarantee; innovation; business cluster; digital solutions.

Introduction:

A key issue in economic transformation is the proper identification of factors that ensure sustainable development. The development of small and medium-sized enterprises and services plays a special role here.

Small enterprises, being flexible and mobile, play a significant role in maintaining competitive economic relations in market conditions. Since they do not hold a dominant position in the economy, they contribute to social stability as well.

The development of small and medium-sized enterprises and services is formed as a result of various forms of ownership, and by supporting competition and bringing production and services closer to consumers, they serve as a key driver for meeting demand and developing innovation.

Small and medium-sized enterprises (SMEs) are defined as businesses that are small in terms of workforce and production scale, have high productivity, have flexible production technologies, and are competitive in the market.

Small and medium-sized enterprises (SMEs) and services have played a major role in the economies of countries, especially developing countries, and will continue to play an important role in the socio-economic development of countries around the world. Small and medium-sized enterprises (SMEs) and services account for about 90 percent of all businesses in the world, and they are considered to make an important contribution to the development of the world economy because they create a huge number of jobs.

In the successful development of Hong Kong, Taiwan and even to some extent Japan, small and medium-sized enterprises (SMEs) play a dominant and decisive role in the economies of countries such as Japan. The dominance of very small enterprises is evident across several Asian economies. Businesses with 1–49 employees account for 92.8% of all SMEs in Hong Kong, 92.0% in Taiwan, 79.1% in South Korea, and 96.8% in Japan.

Hong Kong's SMEs are the main economic units of the country, which are relatively low-cost and highly flexible in response to changes in the business environment. SMEs account for 98% of Hong Kong's local businesses and provide two-thirds of the workforce.

The reasons for implementing SME development policies vary from country to country. For example, in the United States, SME support policies are a measure to expand the size and competitive environment.

In developing countries, SMEs help reduce unemployment. For example, in New Zealand, which has a small economy (livestock farming) with a population of about 3.5 million, similar to Mongolia, small industries and services with less than 10 employees account for almost 80 percent of all industrial establishments.

In some cases, SMEs are protected not from an industrial policy perspective, but from a social welfare perspective.

Recently, the development of SMEs has been highly valued in developing countries due to the huge business and employment opportunities they provide. Compared to developed countries, governments in developing countries consider SMEs as a strategic goal of economic development.

For example, the Japanese government is pursuing a policy of comprehensive support for SMEs for the following reasons.

1. The Japanese government has pursued a policy of comprehensive support for SMEs for reasons related to social welfare. Since the latter half of the 1950s, it has organized many SMEs as subcontractors for large parent companies in leading industrial sectors such as automobiles, electronics, and electrical machinery. In the late 1950s, the government prioritized policies aimed at increasing the competitiveness of SMEs and service providers in international markets.

The Mongolian government believes that private property is essential for developing market-based economic relations. Accordingly, it has promoted the growth of small and medium-sized businesses that are market-competitive and capable of creating jobs through production, services, and trade tailored to regional and local demand. However, the desired level of SME development has not yet been achieved.

As the number of small and medium-sized enterprises and services increases, there is a need to improve the business environment and practical support that is suitable for them.

Therefore, there is a need to study the support provided by the government for the development of small and medium-sized enterprises and services, their role and role in the socio-economic development, the business environment, pressing issues, internal regulation of operations, their management capabilities, and the comparative study of the experiences of small and medium-sized enterprises and services in other countries of the world.

In this regard, the Mongolian government's "New Revival Policy" is aimed at addressing the challenges facing medium-term economic development in the context of Mongolia's long-term development policy "Vision 2050" which aims to make Mongolia one of the leading countries in Asia in terms of social development, economic growth, and quality of life of its citizens by 2050.

In order to establish policies and guidelines for SMEs and take measures to support them, the government adopted and implemented the Law on Small and Medium Enterprises on July 27, 2007, and the Law on "Exemption of Small and Medium Enterprise Equipment from Customs and VAT" in 2009.

The Law on Supporting SMEs, adopted in 2019, provides the main legal framework for the development of SMEs, with the aim of supporting the growth of SMEs, in particular, increasing employment and increasing the contribution of SMEs to GDP.

The 2019 SME Support Law adds several new provisions regarding SMEs, and the law establishes a management and organizational system to provide various assistance and support to SMEs. These include:

• The amount of preferential loans to be provided based on annual sales and the size of the enterprise,

• Loans to micro-enterprises will be provided directly from the SME Development Fund, and loans to small and medium-sized enterprises and services will be provided through commercial banks,

• In order to participate in the services specified in the law, enterprises that meet the conditions must register as small and medium-sized enterprises and services providers;

• Various support measures will be implemented for SMEs, including training, financial support, preferential loans, equipment leasing services, tax breaks, business consulting, support for clusters, and support for entering foreign markets,

• Interest subsidies will be provided to SMEs engaged in export activities;

• SME entrepreneurs must comply with the standards, strive to improve their performance, and report on loans and other credit opportunities.

• The Mongolian State Great Khural is responsible for SME policy and financing (Article 14), while the Government approves the regional development direction for cluster development, allocates the necessary capital resources to support SMEs, and shall have broad authority to implement programs specified in the law, such as the establishment of industrial parks and free trade zones.

• Although 11 business entities have obtained special licenses to establish industrial and technological parks under the 2009 Law on the Legal Status of Industrial and Technological Parks, no such parks have actually been established in Mongolia to date. This is largely because the proposed parks have failed to meet the legal requirements.

• Although the new Law on the Legal Status of Industrial and Technological Parks adopted in 2022 has made many positive changes by expanding the regulations related to industrial and technological parks, it can be further improved in some respects based on international experience and lessons learned. Within the framework of the industrial park policy, interest in industrial parks has increased dramatically worldwide in recent decades, and many of them have developed in the areas of industry and related trade, infrastructure, and services.

In addition, organizations under the Ministry of Agriculture, Rural Development, and the Small and Medium Enterprises and Services Development Fund have been established to support the activities of SMEs.

The SME Development Fund (SMEDF) was established in 2009 to address the challenges of SMEs' access to finance, but its role has been diminishing over the years. The SMEDF has provided loans to businesses for up to 5 years at an annual interest rate of 3 percent. However, businesses have been unable to apply for financing when they need it, despite the fact that the fund's announcements have failed to meet their needs, and the SMEDF has failed to adapt its operations to meet the needs of SMEs. Despite an increase in the number of loan applicants between 2018 and 2020, the SMEDF's total budget and the number of projects financed have decreased significantly. The fund was able to finance only 14-16 percent of the project applications it received, so it financed only a small percentage of the needs.

Table 4.9.

Number of companies that received financing from the SME Development Fund in 2009-2022

Loan period	Total number of borrowers	Total loan amount disbursed
2009	1638	38,629,354.00
2010	1607	40,012,796.00
2011	1768	315,113,397.00
2012	104	25,579,700.00
2013	538	71,999,832.92
2014	928	143,838,900.00
2015	398	60,269,112.00
2016	188	79,980,720.50
2017	154	49,789,910.00
2018	212	96,372,930.00
2019	451	47,444,316.25
2020	249	22816441.00
2021	12	810,000.00
2022	156	19,181,814.00
2023	8403	1,011,848,223.67
2025	8696	1,000,801.446.70

Source: Information from the SME Policy and Planning Department of the Ministry of Agriculture, Rural Development and Rural Development, 2025

However, some problems related to the macroeconomic situation, social, legal implementation, infrastructure and financing still pose difficulties for SMEs in our country.

Article 15,1,4 of Chapter 5 of the Law on Small and Medium Enterprises provides for financial support for SMEs and improvement of their equity adequacy.

In 2020, the SME Development Fund (SMEDF) was transformed into an SME Agency with limited responsibilities in the field of financial access. After the SMEDF was accused of lack of transparency in the process of granting loans, the SME Agency was established by merging the SMEDF and the SME Agency of the Ministry of Agriculture, Rural Development and Rural Development. While the direct role of the SME Agency in providing financing has been limited to providing loans to micro-enterprises due to the reduction in budget allocation, the Government is working to support the Credit Guarantee Fund as a tool to help SMEs obtain long-term financing sources from commercial banks.

In order to ensure transparency and fairness in the operation of SME land loans, an electronic application system has been introduced. The system operates in four main stages: first, a loan officer reviews the application; second, a team of experts makes a selection; third, an on-site visit to the project; and fourth, an assessment of the project's potential and makes a decision.

Established under the name "SME Development Fund", it provides financing to individual entrepreneurs and small and medium-sized enterprises in other sectors, in addition to the agricultural sector specified in the SME Law.

One thing that is observed in developed countries is that a bank can develop and implement an independent system within the bank when it has hundreds of thousands of corporate borrowers, but in reality, only one bank uses a system that calculates interest rates based on risk In order to reduce lending rates, there are many factors, including supporting measures to increase deposit rates, developing the capital market, creating an interbank market, diversifying the purchase market, and more diligent operations of commercial banks, as well as the effectiveness of risk management. Japan's experience offers a useful model for Mongolia. In Japan, the guarantee rate of the Credit Guarantee Association is based on estimated default probabilities Id and published by the Credit Risk Database (CRD). This approach could serve as a reliable reference for Mongolia when determining its own credit guarantee rates.

When introducing the Credit Risk Database (CRD), it is necessary to clarify how to deal with the initial data, such as credit information of commercial bank borrowers, information on enterprises, and information on late and non-payment of loan repayments.

As mentioned earlier, Mongolia needs to clarify its legal framework, including the "Law on Corporate Secrecy" and the "Law on the Protection of Personal Secrets," and it is also important to consider the legal regulations applicable to institutional financing, such as the Collateral System and the SME Fund.

One of the priorities of the SME Department is to strengthen its budget and technical capacity and to reach out to the regional level. The SME Department lacks the capacity to reach rural areas, where the majority of SMEs are located.

The Law on SME Support pays special attention to supporting cluster development, and in order to achieve this goal, it is necessary to develop a methodology for developing SME cluster development. The law defines a cluster as "an enterprise that cooperates in a coordinated manner in terms of production and service objectives, types, directions, and geographical locations in the form of cooperation and diversification," and states that clusters will be supported by providing comprehensive tax and financial support, improving infrastructure provision, and creating conditions for cooperation, diversification, and collaboration in their activities. Most importantly, industry associations support the establishment of SME-based clusters. Cluster-

based approaches may be useful or appropriate for light industries (including wool and leather industries) as a mechanism to reduce costs by creating shared facilities. For example, in the leather sector, this could include raw material storage, centralized wastewater treatment facilities, and efficient supply chain logistics. The SME Department is responsible for cluster development, but the methodology and overall capacity required to implement the provisions on cluster development contained in the SME Law are limited.

Therefore, the SME Department should focus on addressing the challenges faced by SMEs in accessing financial and high-quality professional advisory services by coordinating its activities with ministries and cities involved in cluster development and by improving coordination of work.

The SME Department should play a key role in enabling SMEs to access digital or e-solutions tailored to their company and business needs. Digital solutions can reduce transaction costs in several ways. They improve access to information and enhance communication among employees, suppliers, and business networks. They also lower transportation and border operation costs. Furthermore, by expanding service scopes and integrating data analytics, digital tools increase access to domestic and global markets, finance, training, employment, and public services while supporting innovation.

The Issue of digitalization of the"econ'my has been a priority goal of Mongolia's state policy In recent years, as reflected in the "Vision 2050" Mongolia's long-term development policy and the goals of the New Renaissance Policy adopted in 2020. Important steps have been taken so far, including the adoption and implementation of 10 laws, including the Law on Electronic Signatures, the Law on Personal Data Protection, and the Law on Virtual Asset Service Providers, which came into effect in May 2022.

Although the Mongolian government has taken policy and regulatory measures to develop small and medium-sized enterprises and services and is focusing on improving the legal environment, the role that small and medium-sized enterprises and services play in the economic and social development of our country is not very effective.

The most difficult issue for SMEs is financing. These include high interest rates, strict terms, lack of collateral, lack of access to preferential loans from international organizations and governments, and lack of sales of manufactured products.

Although the Mongolian government has provided a significant amount of preferential loans and interest rate subsidies to support the development of SMEs in recent years, the coverage is still limited due to a lack of credit sources.

References

1. Barbard, C. (2010). The Functions of the Executive. Cambridge, MA: Harvard University Press.

2. Blinov, A. N. (2025). Small and Medium Enterprises and Big Politics.

3. Dolgorsuren, Ts. (2008). Some Issues in the Management of Small and Medium Enterprises in Mongolia. Ulaanbaatar.

4. Dorj, T., & Chimed, U. (2000). Management (pp. 10–13, 78–81). Ulaanbaatar.

5. Economic Survey. (n.d.). Retrieved from http://www.economicsurvey.com

6. Gosudarstvo and Financial Business. (2019). Moscow: INION RAN.

7. Grachyov, I. D., & Belova, I. V. (2018).

8. Jeol Corman, & Lusser, R. N. (2023). Small Business Management: A Planning Approach (p. 307). Irwin.

9. Kiyazev, V. G. (2024). Taxes as a Mechanism for Stimulating Small Entrepreneurship. Financial, (1).

10. Korean Small Business Corporation. (2024). Training Program for SME Managers: Development Process of the Korean Economy and SMEs.

11. Llapusta, M. G., & Starostin, Y. L. (2019). Small and Medium Entrepreneurship. Moscow: INFRA-M.

12. Megginson, L., Burd, M. J., Scott, C. R., & Megginson, L. C. (2023). Small Business Management: Legal Forms of Ownership. Irwin McGraw-Hill.

13. Mongolia's Vision 2050 and New Recovery Policy (NRP). (2025).

14. Novikov, V., & Sheregi, F. (2025). Small Business Enterprise and Banks: Diverging Paths. Russian Economic Journal, (4).

15. Outline of Small and Medium Enterprise Policies of the Japanese Government. (2019). Small and Medium Enterprise Agency, MITI.

16. Resource Center for Support of Small and Medium Enterprises. (2019). Moscow, (3).

17. Samarukha, V. I., Sachkov, D. I., Gulyaeva, L. V., Gushchina, I. V., Khitrova, E. M., & Starodubtseva, E. A. (2024). Basic Entrepreneurial Activity. Irkutsk: BGUEP Publishing House.

18. Shamalov, F. (2025). Small Entrepreneurship. Economist, (2).

19. State Great Khural of Mongolia. (2019). Law on Support of Small and Medium Enterprises and Services. Retrieved from https://legalinfo.mn/mn/detail/14525

20. United Nations. (2020). Economic Diversification in Some Landlocked Developing Countries in Asia.

21. Vilenskyi, A. (2024). Stages of Development of Small and Medium-Sized Enterprises in Russia. Economic Questions, (8).

22. Vorzimer, L. H. (n.d.). U.S. Small Business Administration: Using Census Data to Select Store Sites. Small Marketers AID No. 16.

23. World Bank. (2024). Industrial Park Circular Economy: Technologies of Competitiveness.

24. World Bank. (2025). Global Economic Outlook and Developing Countries.

25. World Bank Mongolia. (n.d.). Retrieved from http://www.worldbank.org.mn

26. World Factbook. (n.d.). Retrieved from http://www.worldfactbook.com

27. World Trade Organization. (n.d.). Retrieved from http://www.wto.org

MEDICAL SCIENCES

THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CLINICAL PRACTICE

Bukach O.
assistant of the department of internal medicine
Benitska M.,
Kolbun N.,
Zozulia Y.
Bukovyna State Medical University,
DOI: 10.5281/zenodo.20457659

Abstract

Artificial intelligence (AI) is one of the leading directions in the development of digital medicine and the modern healthcare system. Its implementation contributes to increasing the accuracy of diagnostics, personalization of treatment, optimization of clinical decisions and automation of medical documentation. The article analyzes modern directions of application of AI in clinical practice, in particular in diagnostics, pharmacotherapy, surgery, intensive care and telemedicine. Special attention is paid to the advantages, risks, ethical and legal aspects of the use of intelligent systems in medicine. The prospects for the development of personalized and preventive medicine based on AI are highlighted.

Keywords: artificial intelligence, digital medicine, machine learning, deep learning, telemedicine, clinical solutions, personalized medicine.

Introduction

In modern conditions, the rapid development of information technologies is significantly transforming the healthcare system, forming the concept of digital medicine. Digital health encompasses the use of information technologies, telemedicine, big data, and artificial intelligence to improve the quality of medical care and the efficiency of population health management. According to the World Health Organization, digital technologies contribute to improving the accessibility of medical services, optimizing clinical decisions, and improving public health indicators [3].

One of the key directions of modern digital transformation of medicine is the use of artificial intelligence (AI). AI systems are able to analyze large data sets, interpret clinical information, predict risks and support the doctor in the decision-making process. In many branches of medicine, in particular radiology, cardiology, oncology and intensive care, intelligent algorithms have already demonstrated high efficiency and accuracy [8].

The purpose of the study is to analyze current trends in the application of artificial intelligence in medicine and assess its impact on clinical practice, quality and accessibility of medical services.

Analysis of recent research and publications

Artificial intelligence is a set of algorithms and software systems that are capable of analyzing information, drawing conclusions based on data, and performing tasks that traditionally require human thinking. According to the Organization for Economic Co-operation and Development, AI systems are characterized by the ability to interpret data, adapt to the environment, and act with a certain level of autonomy to achieve set goals [1].

The main technological approaches to AI are machine learning and deep learning [4].

Machine learning

Machine learning involves creating models that analyze patterns in data and use them for prediction or classification. These methods are most often used to work with structured data:

• laboratory parameters;
• electronic medical records;
• clinical trial results [16].

Deep Learning

Deep learning is a subfield of machine learning that is based on the use of artificial neural networks.

$$f(x) = \sigma(\sum_{i=1}^{n} w_i\, x_i + b)$$

This approach is particularly effective for analyzing:

medical images;
text data;
audio information;
large unstructured data sets [22].

In modern medicine, deep learning methods are widely used in [13]:

• radiology;
• ophthalmology;
• dermatology;
• pathological anatomy.

Artificial intelligence is most often used in medicine in the diagnosis of diseases.

One of the most important areas is the use of AI for the analysis of medical images [6]:

• computed tomography;
• magnetic resonance imaging;
• radiography;
• histological preparations.

Deep learning algorithms are capable of automatically recognizing pathological changes with high sensitivity and specificity. AI has been particularly effective in [7]:

• early diagnosis of cancer;
• detection of diabetic retinopathy;
• prediction of cardiovascular risks;
• analysis of lung radiographs.

In clinical practice in the UK, AI systems are already being used to screen for melanoma by analyzing

photographs of skin lesions, which can reduce the workload on dermatologists [24].

In addition, AI is actively used in laboratory diagnostics for [15]:

• interpretation of biochemical parameters;

• analysis of genetic data;

• automated screening for hereditary pathologies.

In modern medical practice, both approaches do not compete with each other, but complement each other depending on clinical tasks [11].

The use of artificial intelligence in medicine is associated with high requirements for accuracy, speed and reliability of the results obtained. Unlike traditional information systems, intelligent algorithms can not only accumulate information, but also analyze it, helping the doctor make informed clinical decisions [2].

AI systems contribute to [5]:

• reducing the risk of diagnostic errors;

• automatic detection of pathological changes;

• reminders about the need for additional examinations;

• optimization of treatment tactics.

One of the most promising areas of AI use is medical diagnostics. Deep learning algorithms are able to analyze the results of computed tomography, magnetic resonance imaging, and radiography with high accuracy [20].

By automatically recognizing pathological structures, AI systems can [12]:

• detect early changes in tissues;

• create three-dimensional models of organs;

• assess the risk of disease progression.

In addition to visual diagnostics, artificial intelligence is actively used to analyze laboratory and genetic data, which significantly improves the effectiveness of screening programs [9].

Among the most well-known examples of the use of artificial intelligence in clinical practice are automated detection of diabetic retinopathy, analysis of electrocardiograms for early diagnosis of arrhythmias, as well as systems for predicting the risk of cardiovascular complications. In the field of oncology, artificial intelligence algorithms are actively used to analyze mammographic images, histological preparations and computed tomography results, which allows detecting malignant processes at early stages.

Studies show that in some cases the accuracy of such systems can be comparable to or even exceed the effectiveness of traditional medical image evaluation by a physician [17].

In cardiology, artificial intelligence is used to analyze electrocardiographic data, echocardiography, and predict the development of heart failure. Machine learning algorithms allow assessing the risk of myocardial infarction, coronary heart disease, and other pathologies even before the appearance of pronounced clinical symptoms. This creates the prerequisites for the development of preventive medicine and earlier initiation of treatment [14].

In neurology, artificial intelligence systems are used for the early detection of neurodegenerative diseases, including Alzheimer's and Parkinson's disease. By analyzing magnetic resonance imaging results and clinical data, intelligent algorithms are able to detect minimal structural changes in the brain that are difficult to detect during a standard examination. In addition, AI is used to predict the risk of stroke and assess the functional status of patients after neurological disorders [25].

In the field of laboratory medicine, artificial intelligence allows you to automate the interpretation of test results and significantly accelerate information processing. Machine learning systems can analyze large arrays of laboratory indicators, identify hidden patterns and help doctors detect pathological changes. The combination of artificial intelligence with molecular genetic research methods is especially promising, which opens up new opportunities for personalized medicine [21].

An important direction of development of modern medicine is the use of artificial intelligence in pharmacology and development of new drugs. Analysis of large clinical and molecular databases allows to accelerate the process of searching for promising therapeutic molecules, to assess the effectiveness of drugs and to predict possible adverse reactions. The use of AI significantly reduces the time required to create new drugs, and also reduces the cost of conducting research [10].

During the COVID-19 pandemic, the role of artificial intelligence in medicine became particularly noticeable. Intelligent systems were used to analyze the spread of infection, predict the epidemic situation, assess the severity of the disease, and analyze computed tomography of the lungs. In addition, AI helped create models for predicting the load on medical institutions and optimizing the allocation of health care resources [18].

Along with the development of technologies, the need for regulatory and ethical regulation of the use of artificial intelligence is also growing. One of the most important aspects remains the transparency of the work of algorithms and the ability to explain the results obtained. The concept of explainable AI involves the creation of models whose logic can be understood by medical professionals. This is important for trust in AI systems and their safe implementation in clinical practice [23].

It is also important to consider the problem of algorithmic bias. If the system is trained on incomplete or unrepresentative data, this can lead to errors and inequalities in the provision of medical care. That is why one of the key tasks of modern medicine is to ensure the quality of training data and conduct multicenter clinical trials to assess the effectiveness and safety of artificial intelligence systems [19].

In the future, further integration of artificial intelligence into all levels of healthcare is expected, from primary care to highly specialized centers. Intelligent electronic medical records, automated clinical decision support systems, and remote patient monitoring technologies will play a significant role. The use of wearable devices and mobile medical platforms will allow for continuous monitoring of physiological parameters and timely detection of pathological changes.

Thus, artificial intelligence is gradually becoming an integral part of modern medicine. Its use opens up

wide opportunities for improving diagnostics, treatment and prevention of diseases, increasing the availability of medical care and optimizing the work of medical institutions. At the same time, the effective implementation of such technologies requires compliance with ethical norms, legal regulation and maintaining the leading role of the doctor in the process of clinical decision-making.

References

1. World Health Organization. Global strategy on digital health 2020–2025. Geneva: WHO; 2021.
2. Organisation for Economic Co-operation and Development. Recommendation of the Council on Artificial Intelligence. Paris: OECD; 2019.
3. European Commission. Artificial Intelligence in Healthcare: Applications and Policy Implications. Brussels; 2020.
4. Topol E. Deep Medicine: How Artificial Intelligence Can Make Healthcare Human Again. New York: Basic Books; 2019.
5. Esteva A, Robicquet A, Ramsundar B, et al. A guide to deep learning in healthcare. Nat Med. 2019;25(1):24–29.
6. Rajpurkar P, Chen E, Banerjee O, Topol E. AI in health and medicine. Nat Med. 2022;28(1):31–38.
7. Jiang F, Jiang Y, Zhi H, et al. Artificial intelligence in healthcare: past, present and future. Stroke Vasc Neurol. 2017;2(4):230–243.
8. Yu KH, Beam AL, Kohane IS. Artificial intelligence in healthcare. Nat Biomed Eng. 2018;2(10):719–731.
9. Kelly CJ, Karthikesalingam A, Suleyman M, et al. Key challenges for delivering clinical impact with artificial intelligence. BMC Med. 2019;17(1):195.
10. Topol EJ. High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. Nat Med. 2019;25(1):44–56.
11. Ting DSW, Pasquale LR, Peng L, et al. Artificial intelligence and deep learning in ophthalmology. Br J Ophthalmol. 2019;103(2):167–175.
12. McKinney SM, Sieniek M, Godbole V, et al. International evaluation of an AI system for breast cancer screening. Nature. 2020;577:89–94.
13. Ardila D, Kiraly AP, Bharadwaj S, et al. End-to-end lung cancer screening with three-dimensional deep learning. Nat Med. 2019;25(6):954–961.
14. Erickson BJ, Korfiatis P, Akkus Z, Kline TL. Machine learning for medical imaging. Radiographics. 2017;37(2):505–515.
15. Shamout FE, Shen Y, Wu N, et al. An artificial intelligence system for predicting the deterioration of COVID-19 patients in the emergency department. Nat Med. 2021;27(2):272–278.
16. Davenport T, Kalakota R. The potential for artificial intelligence in healthcare. Future Healthc J. 2019;6(2):94–98.
17. Briganti G, Le Moine O. Artificial intelligence in medicine: today and tomorrow. Front Med. 2020;7:27.
18. Hamet P, Tremblay J. Artificial intelligence in medicine. Metabolism. 2017;69:S36–S40.
19. Char DS, Shah NH, Magnus D. Implementing machine learning in health care — addressing ethical challenges. N Engl J Med. 2018;378:981–983.
20. Holzinger A, Biemann C, Pattichis CS, Kell DB. What do we need to build explainable AI systems for the medical domain? arXiv. 2017.
21. London AJ. Artificial intelligence and black-box medical decisions: accuracy versus explainability. Hastings Cent Rep. 2019;49(1):15–21.
22. Secinaro S, Calandra D, Secinaro A, et al. The role of artificial intelligence in healthcare: a structured literature review. BMC Med Inform Decis Mak. 2021;21:125.
23. Ahmed Z, Mohamed K, Zeeshan S, Dong X. Artificial intelligence with multi-functional machine learning platform development for better healthcare and precision medicine. Database. 2020;2020:baaa010.
24. Bohr A, Memarzadeh K. Artificial Intelligence in Healthcare. Academic Press; 2020.
25. Panch T, Mattie H, Atun R. Artificial intelligence and algorithmic bias: implications for health systems. J Glob Health. 2019;9(2):010318.

PEDAGOGICAL SCIENCES

THE CRISIS OF TRADITIONAL ACADEMIC WRITING IN THE DIGITAL ECOSYSTEM: TRANSFORMING TEACHING METHODOLOGY AMID GENERATIVE AI EXPANSION

Balasanian O.
Senior Lecturer
Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics
DOI: 10.5281/zenodo.20457675

Abstract

This article addresses the transformation of teaching and assessment methodologies for writing skills within ESP and Business English courses amidst the expansion of Large Language Models. The author substantiates a shift from evaluating the final textual product to monitoring the students' critical thinking process by integrating artificial intelligence as a digital co-agent. The study's main conclusion demonstrates that implementing innovative task formats (comparative analysis, template revitalization, and role inversion) completely neutralizes plagiarism risks while ensuring the development of genuine analytical and foreign language expertise in early-career professionals.

Keywords: Large Language Models, Business English, ESP, process-oriented approach, distributed agency, role inversion.

Problem statement

Within the higher education system, the study of English for Specific Purposes (ESP) and Business English traditionally involves mastering the culture of business correspondence. Students are expected to acquire skills in generating highly regulated texts such as letters of inquiry, gratitude, commercial proposals, and invitations, which adhere to strict structural constraints and genre-specific clichés. However, the rapid expansion of Large Language Models (LLMs) has provoked a profound crisis in the methodology of teaching and assessing written language (*Writing*). Due to the high degree of standardization inherent in business correspondence, generative AI instantly produces stylistically and grammatically flawless textual artifacts.

This creates a sharp didactic paradox. On the one hand, the educator receives a formally perfect piece of work that they are compelled to grade favorably. On the other hand, the actual development of foreign language communicative competence does not occur, leaving students trapped in an "illusion of competence." Since writing remains an indispensable component of a future specialist's language training, eliminating it from educational curricula is impossible. Consequently, a critical scientific and methodological contradiction emerges: how to transform the format of writing tasks and their evaluation criteria under conditions where the classical textual product has been entirely devalued by artificial intelligence technologies.

Literature review

The problem of educational space transformation under the influence of digital technologies and artificial intelligence has drawn significant scholarly attention. The issues of teacher effectiveness and the capacity to adapt to new challenges are highlighted by Duckworth, Quinn, and Seligman [1]. Concurrently, mass digitalization has actualized the use of big data in language learning, which, as Godwin-Jones states, offers both unique opportunities and complex challenges for higher education [2]. Later, the same author substantiated the concept of distributed agency in language learning and teaching through the prism of interaction with generative AI [3].

Special emphasis is placed on the direct impact of automated tools on written language quality. Specifically, Hockly critically analyzes the integration of artificial intelligence in English language teaching, mapping out the positive, destructive, and ambiguous aspects of this process [4]. In turn, Hyland's classical research emphasized the importance of preserving identity and authorial voice in academic writing [5], which is currently threatened by impersonal text generation. Additionally, Lee demonstrates that even the use of machine translation substantially alters EFL students' approach to writing, necessitating new analytical skills [6].

However, despite a profound analysis of specific digitalization aspects, contemporary publications still lack comprehensive applied methodologies that propose concrete task formats for Business English aimed at transforming the student's role from a passive consumer of AI content into a critical expert editor.

Article objective

The objective of this article is to provide a theoretical substantiation and present practical experience regarding the transformation of writing tasks within ESP and Business English courses amid the mass utilization of generative AI. The study proposes shifting the educational focus from reproductive text generation to developing students' critical-editorial competence through a system of inverted tasks and analytical work with AI-generated artifacts.

Results and discussion

The expansion of Large Language Models into the sphere of higher education disrupts the traditional paradigm of writing instruction, which for decades has been based on the product-oriented approach. Within this framework, the final text (such as a business letter, essay, or report) was considered direct material evidence of the development of a student's foreign language communicative competence. However, at the current stage of digital technology evolution, when artificial intelligence is capable of generating stylistically

refined and grammatically flawless texts within seconds, evaluating the final product loses its didactic meaning. Attempts to totally ban artificial intelligence tools or blind reliance on automated plagiarism detection systems only drive the educational process into a deadlock of mutual distrust and didactic inefficiency [4].

The phenomenon of digital mimicry, wherein artificially generated discourse successfully simulates the formal attributes of high language culture while concealing destructive linguistic defects, requires distinct didactic conceptualization. The primary drivers of this phenomenon are the technological perfectionism of the neural network and the cognitive effect of the competence placebo among learners. On one hand, the algorithmic perfectionism of Large Language Models ensures the creation of grammatically flawless, structurally sound, and stylistically refined constructions that, at first glance, appear to be ideal specimens of business writing. On the other hand, this surface-level impeccability triggers the competence placebo effect: upon perceiving the smooth facade of the machine text, the student experiences an illusory satisfaction with the communicative pragmatics of the letter, which consequently blocks the mechanisms of critical analysis. Digital mimicry induces cognitive blindness, whereby the student, blinded by external linguistic correctness, fails to notice the absence of deep contextual meanings, an individual authorial voice, and empathy, ultimately leading to the degradation of their own productive speech skills.

Drawing upon practical experience in teaching English for Specific Purposes and Business English, a radical shift of focus is proposed from the reproductive creation of texts from scratch toward their critical analysis, deconstruction, and expert editing. Within this model, artificial intelligence is viewed not as an instrument of falsification, but as a digital co-agent. This allows for the full realization of the concept of distributed agency, wherein the responsibility for the final communicative outcome is shared between the human and the algorithm, while the ultimate expert decision always remains with the student [3]. Based on this approach, we have identified several promising task formats that minimize the problem of plagiarism and ensure the genuine acquisition of speech skills.

The first format engages students in analytical activity through a binary comparison of two text types, namely an authentic business letter crafted by an experienced specialist and a letter generated by a Large Language Model based on an identical technical task. A profound analysis is conducted across several interconnected criteria, among which the key components are lexical architecture, stylistic pragmatics of the genre, and the level of individual personalization. Research into the density of professional vocabulary usage reveals that artificial intelligence tends to employ statistically most probable, and therefore maximally averaged, linguistic units [2]. In contrast, human-written text contains idiomatic expressions, specific contextual jargon, and flexible lexical transitions that reflect real-world business practice. Machine-generated text is typically hyper-correct and oversaturated with archaic or overly formal clichés, which transforms it into an artificial mock-up. The most critical deficiency of such texts is the absence of an authorial voice, conceptualized in the works of Ken Hyland [5]. The robotic letter is devoid of emotional intelligence, neutralizing the unique identity of the author and their specific attitude toward the addressee. During the execution of this task, students' cognitive activity shifts toward advanced analytical operations and critical evaluation. Students learn to detect linguistic manipulation, which develops their language intuition and demonstrates that paraphrasing skills constitute the sole method to make business communication dynamic and alive [6].

The next approach we propose is based on the intentional utilization of such algorithmic properties as the creation of linguistically refined, yet contextually depersonalized, sterile texts. The educator acts as the initiator of the process, providing students with an identical, artificial intelligence-generated business letter template, such as a response to a customer complaint or a commercial proposal. The students' task consists in the revitalization and contextualization of this text, which requires undergoing several stages of cognitive processing, ranging from communicative risk analysis to lexical transformation. For the successful execution of such work, the student must possess deep background knowledge, understand the specifics of a particular business case, the psychological state of the addressee, and the marketing objectives of the company. The student is compelled to modify established clichés, substitute generic phrases with concrete figures, and alter the overall tone of the text from neutrally robotic to empathetic. Providing the exact same machine-generated template to the entire academic cohort, followed by cross-comparative discussion, proves to be particularly effective. The comparison of diverse lexical transformations and paraphrasing strategies deployed by different students to resolve a single communicative problem illustrates linguistic variability. This demonstrates to learners that the flawless grammar of artificial intelligence constitutes mere raw material, which, without human intelligence, is incapable of achieving strategic pragmatic objectives within professional discourse.

The most vulnerable link in contemporary language pedagogy remains summative assessment, within which we propose implementing a format of role inversion, where the student shifts from the position of an executor to that of an expert or educator. This format is ideal for final credit examinations and is operationalized through the audit of defective textual material. Each student is individually assigned a letter generated via a subversive prompt containing latent anomalies, such as breaches of business etiquette, logical contradictions, excessive tautology, or artificial algorithmic hallucinations. The student is required to conduct a linguistic expertise of the text, flag all deficiencies, and prepare comprehensive analytical commentary in English, explicating the communicative ineffectiveness of specific phrases.

The final stage involves a brief oral defense (*viva voce*) of their editorial decisions before the audience. The student must justify why they substituted a machine cliché with their own lexical construction and

how this modification influences the pragmatics of the letter. Such a format completely neutralizes potential breaches of academic integrity, given that the student cannot delegate the oral explanation of their cognitive trajectory to artificial intelligence. To identify and articulate an error made by a neural network, the learner must demonstrate a higher level of analytical competence than the algorithm itself. This restores an instrument of objective evaluation to the educator and reclaims agency for the student, transforming assessment into an active mode of learning.

Consequently, the proposed task formats, ranging from comparative analysis to role inversion, fundamentally alter the vector of interaction within the "educator–student–artificial intelligence" system. They shift the focus of didactic attention from the mechanical evaluation of a static textual product (product-oriented) to the monitoring and assessment of the learner's critical thinking process (process-oriented). Within this paradigm, Large Language Models cease to pose a threat to academic integrity, transforming instead into a powerful catalyst for linguistic analysis. The student, compelled to revitalize and defend texts, acquires genuine rather than illusory communicative competence, given that the criterion for success becomes not the perfection of the machine algorithm, but the depth of the individual's human linguistic expertise.

Conclusions and directions for further research

The conducted study demonstrates that the rapid expansion of generative artificial intelligence into higher education necessitates an immediate revision of outdated didactic approaches to teaching and assessing written language within ESP and Business English courses. The traditional product-oriented approach, focused on evaluating the final textual outcome, has entirely lost its relevance due to the capacity of Large Language Models to instantly generate grammatically flawless, yet depersonalized and sterile texts. The conceptual task formats proposed in this article namely, the "human versus machine" comparative analysis, the revitalization of AI templates, and role inversion with oral verification, prove the effectiveness of shifting the focus of attention directly onto the process of the student's linguistic and cognitive activity.

The described practical experience demonstrates that integrating AI as a digital co-agent not only neutralizes the risks of academic plagiarism but also stimulates the development of critical thinking, paraphrasing skills, and the analytical expertise of learners. Directions for further research in this area lie in a more detailed investigation of the psycholinguistic features of students' perception of robotic discourse, as well as in the development of differentiated grading scales specifically tailored to evaluate the editorial and analytical components of the foreign language professional competence of early-career professionals.

References

1. Duckworth, Angela Lee, Patrick D. Quinn, and Martin E. P. Seligman. "Positive Predictors of Teacher Effectiveness." The Journal of Positive Psychology, 2009. Vol. 4 (6), P. 540–547.

2. Godwin-Jones, R. Big data and language learning: Opportunities and challenges. Language Learning & Technology, 2021. Vol. 25(1), P. 4–19. http://hdl.handle.net/10125/44747

3. Godwin-Jones, R. Distributed agency in language learning and teaching through generative AI. Language Learning & Technology, 2024. Vol. 28(2), P. 5–31. https://doi.org/10125/73570

4. Hockly, N. Artificial Intelligence in English Language Teaching: The Good, the Bad and the Ugly. RELC Journal, 2023. Vol. 54(2), P.445–451.

5. Hyland, K. Options of identity in academic writing. ELT Journal, 2002. Vol.56 (4), P. 351-358.

6. Lee, S.-M. The impact of using machine translation on EFL students' writing. Computer Assisted Language Learning, 2020. Vol. 33(3), P.157–175. https://doi.org/10.1080/09588221.2018.1553186

VISUAL AND GRAPHIC METHODS IN TEACHING AMINO ACIDS: THE ROLE OF MODELS AND SCHEMES

Orujov Y.
Baku State University, Master's student
Nagiyev K.
Chemistry faculty, chemistry teaching methodology, head of the department, doctor of chemical sciences, professor
Baku State University,
Abishov N.
Doctor of Pedagogical Sciences, Professor
Baku State University
Baku, Azerbaijan
DOI: 10.5281/zenodo.20457697

Abstract

The teaching of amino acids occupies an important place in school and university chemistry courses because this topic connects organic chemistry, biochemistry, biology, nutrition, medicine, and environmental science. However, students often experience difficulties in understanding amino acids due to the abstract nature of their molecular structure, the presence of different functional groups, amphoteric properties, zwitterion formation, peptide bond formation, and their role in protein structure. Traditional verbal explanations are not always sufficient for the meaningful assimilation of these concepts. Therefore, the use of visual and graphic methods becomes especially important in teaching this topic.

This article examines the pedagogical role of molecular models, structural schemes, concept maps, reaction diagrams, comparative tables, and visual algorithms in the teaching of amino acids. The paper argues that visual and graphic methods help students move from memorization to conceptual understanding by making invisible molecular processes more observable and logically organized. The article proposes a methodological model for teaching amino acids through visual representation, including stages such as motivation, structural visualization, functional group analysis, modeling of zwitterion formation, construction of peptide bond schemes, and reflective assessment. The study highlights that the integration of models and schemes develops students' spatial imagination, analytical thinking, chemical language, and interdisciplinary understanding.

Keywords: amino acids, chemistry education, visual methods, graphic methods, molecular models, schemes, organic chemistry, conceptual understanding.

INTRODUCTION

In contemporary chemistry education, the main purpose of teaching is no longer limited to the transmission of ready-made theoretical knowledge. Modern learners are expected to understand chemical concepts deeply, interpret them in different contexts, explain relationships between structure and properties, and apply scientific knowledge to real-life situations. This requirement is especially important in the teaching of organic and bioorganic chemistry, where many concepts are abstract, multidimensional, and closely connected with biological systems. One of such topics is amino acids, which occupy a central position between chemistry and biology and serve as an important bridge for understanding proteins, enzymes, metabolism, nutrition, and the molecular basis of life[1].

Amino acids are not merely individual organic compounds studied in the chemistry curriculum. They are fundamental structural units of proteins and participate in many vital processes occurring in living organisms. Their chemical structure includes both amino and carboxyl functional groups, which determine their amphoteric nature and ability to form zwitterions. In addition, amino acids differ from one another according to the structure and properties of their side chains. This means that the topic requires students to understand several interrelated ideas at the same time: molecular structure, functional groups, acid-base behavior, polarity, peptide bond formation, and biological function. For many students, these concepts are difficult to imagine because they take place at the molecular level and cannot be directly observed with the naked eye.

Traditional methods of teaching amino acids are often based on verbal explanation, textbook definitions, and the memorization of formulas. Although these methods have their place in the learning process, they are not always sufficient for the formation of meaningful and lasting understanding. When students only memorize that amino acids contain an amino group and a carboxyl group, they may fail to understand how these groups determine chemical behavior. Similarly, when peptide bond formation is presented only as a written reaction equation, students may not clearly see which parts of the molecules interact, why water is released, and how a chain of amino acids becomes the basis of protein structure. As a result, knowledge may remain formal and fragmented [2].

The use of visual and graphic methods creates more favorable conditions for overcoming these learning difficulties. Molecular models, structural schemes, diagrams, concept maps, comparative tables, and reaction flowcharts help students transform abstract chemical information into visible and logically organized knowledge. Through visual representation, students can observe the general structure of amino acids, distinguish functional groups, compare different side chains, follow the stages of zwitterion formation, and understand the mechanism of peptide bond formation.

In this way, visual methods support the transition from mechanical memorization to conceptual understanding.

Visual and graphic tools are particularly valuable because chemistry is a science that operates on three levels of representation: the macroscopic, microscopic, and symbolic levels. At the macroscopic level, students encounter substances and biological materials such as food proteins, muscles, enzymes, and living tissues. At the microscopic level, they need to imagine atoms, bonds, charges, molecular geometry, and interactions between functional groups. At the symbolic level, they work with formulas, equations, structural representations, and chemical signs. Difficulties often arise when students cannot connect these three levels. For example, they may know the formula of an amino acid but may not understand its biological significance, or they may know that proteins are made of amino acids but may not understand the chemical process by which peptide bonds are formed. Visual and graphic methods help connect these levels into a unified system[3].

Another important aspect is the development of students' spatial imagination. Amino acids are not flat formulas on paper; they are three-dimensional molecules with specific arrangements of atoms around the central carbon atom. Understanding this spatial structure is important for explaining chirality, biological activity, and the specific role of amino acids in protein formation. Physical molecular models and digital 3D representations allow students to rotate molecules, compare structures, and see how even small changes in the side chain may influence the properties of the compound. This visual-spatial experience is difficult to achieve through verbal explanation alone.

Graphic methods also play an important role in systematizing knowledge. For instance, a concept map can show the relationship between amino acids, functional groups, amphoteric properties, peptide bonds, proteins, enzymes, and biological functions. A comparative table can help students classify amino acids according to polarity, charge, or side-chain structure. A reaction scheme can present the formation of a peptide bond step by step. Such graphic organizers not only simplify the learning material but also guide students' thinking, encourage analysis, and help them build logical connections between separate facts. The relevance of visual and graphic methods is also related to the characteristics of modern learners. Today's students live in an information-rich environment where visual communication plays an increasingly important role. They often understand and remember information better when it is presented through images, schemes, models, and interactive representations. However, the use of visuals in chemistry lessons should not be accidental or decorative. A picture or diagram becomes pedagogically meaningful only when it helps students explain a chemical concept, compare structures, identify relationships, or solve a learning problem. Therefore, the teacher must select and use models and schemes purposefully, according to the objectives of the lesson[4].

In the teaching of amino acids, models and schemes can also strengthen interdisciplinary integration. This topic naturally connects chemistry with biology, medicine, ecology, and health education. For example, when students study amino acids as components of proteins, they can relate chemical knowledge to digestion, nutrition, muscle development, enzymes, genetic information, and metabolic processes. Visual schemes showing the sequence "amino acid → peptide → protein → biological function" help students understand that chemical structures are not isolated theoretical objects but are directly related to living systems. Such an approach increases students' motivation and helps them see the practical value of chemistry [5].

From a methodological point of view, the use of visual and graphic methods in teaching amino acids creates opportunities for active learning. Students can build molecular models, complete incomplete schemes, draw concept maps, compare amino acids, construct peptide bond diagrams, and explain the role of functional groups. These activities involve students in the learning process and encourage them to think, discuss, justify, and reflect. As a result, the lesson becomes more student-centered and develops not only subject knowledge but also analytical thinking, communication skills, and scientific reasoning. Thus, the problem addressed in this article is connected with the need to improve the teaching of amino acids through the purposeful use of visual and graphic methods. The article focuses on the role of molecular models and schemes in making the structure, properties, and biological significance of amino acids more understandable for students. It argues that models and schemes are not auxiliary materials used only for illustration, but important didactic tools that support conceptual understanding, systematization of knowledge, and interdisciplinary thinking. The study also proposes a methodological approach in which visual representation is integrated into different stages of the lesson, from motivation and explanation to practice and assessment[6].

LITERATURE REVIEW

The problem of using visual and graphic methods in chemistry education has been widely discussed in modern pedagogical and methodological literature. Many researchers emphasize that chemistry is a difficult subject for learners because it requires the simultaneous understanding of observable phenomena, invisible molecular processes, and symbolic forms such as formulas, equations, and structural representations. Johnstone explained that one of the main reasons science is difficult to learn is connected with the abstract nature of scientific knowledge and the way it is often presented to students. In chemistry, this difficulty becomes especially visible because students must move between the macroscopic, submicroscopic, and symbolic levels of explanation. This idea is important for the teaching of amino acids. Amino acids are not only formulas written in a textbook; they are molecular structures with specific functional groups, spatial organization, ionic forms, and biological roles. If students see only the symbolic formula, they may not understand the real meaning of the molecule. Therefore, the teaching of amino acids requires methods that help learners connect chemical symbols with molecular structure and biological function. Visual and graphic

methods serve this purpose by making abstract chemical relationships more concrete and understandable[7].

A significant contribution to the theoretical basis of visual learning was made by Ainsworth, who developed the DeFT framework for learning with multiple representations. According to this approach, different representations can support learning in different ways: they may complement one another, help students interpret difficult information, and develop deeper understanding when learners compare and connect them. In the context of amino acid teaching, this means that a structural formula, a molecular model, a peptide bond scheme, and a concept map should not be used separately or randomly. They should be organized as parts of one methodological system. For example, the structural formula shows the general composition of an amino acid, the molecular model demonstrates spatial arrangement, the reaction scheme explains peptide bond formation, and the concept map connects amino acids with proteins and biological functions[8].

Researchers in chemistry education also underline the importance of representational competence. Treagust, Chittleborough, and Mamiala examined the role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations and showed that these forms of representation are essential for giving meaning to chemical concepts. This position is directly relevant to the topic of amino acids. Students must understand that the written formula of an amino acid is only one form of representation. Behind this formula there is a real molecular structure, charge distribution, functional group interaction, and possible chemical transformation. When students work with models and schemes, they gradually learn to interpret chemical signs and explain them scientifically. Taber's discussion of the "chemistry triplet" also has methodological value for the present study. He revisited the idea that chemistry knowledge is represented through three interconnected levels: macroscopic, submicroscopic, and symbolic. His work emphasizes that effective chemistry teaching should help students coordinate these levels rather than study them separately. In teaching amino acids, this coordination is especially important. At the macroscopic level, students may encounter proteins in food, muscles, enzymes, or living tissues. At the submicroscopic level, they need to imagine amino acid molecules, side chains, charges, and peptide bonds. At the symbolic level, they use formulas, structural schemes, and reaction equations. Visual and graphic tools help unite these levels into one meaningful learning process. The literature also shows that molecular models are valuable tools for developing students' spatial thinking. In organic chemistry, many learning difficulties arise because students see molecules as flat drawings, although real molecules have three-dimensional structures. Amino acids are a clear example of this problem. The central carbon atom, the amino group, the carboxyl group, the hydrogen atom, and the side chain are arranged in space. When students use physical or digital molecular models, they can rotate the structure, compare side chains, and understand why the spatial arrangement of atoms is important. This is particularly useful when explaining chirality, biological activity, and the structural basis of proteins[8].

Graphic organizers are another important group of visual tools discussed in educational literature. Concept maps, comparative tables, flow diagrams, and structural schemes help organize learning material and reveal relationships between concepts. In the teaching of amino acids, concept maps can connect such concepts as "functional group," "amphoteric property," "zwitterion," "peptide bond," "protein," and "enzyme." Comparative tables can help students distinguish neutral, acidic, basic, polar, and nonpolar amino acids. Reaction schemes can show how two amino acids join through condensation and form a peptide bond. Such tools are useful because they reduce the cognitive load of the topic and support logical understanding [10].

The use of visual and graphic methods is also supported by multimedia learning theory. Mayer's theory of multimedia learning states that students learn more effectively when verbal and visual information are meaningfully combined, provided that the material is not overloaded and is organized clearly. In chemistry lessons, this means that a diagram or model should not simply decorate the lesson; it must perform a clear didactic function. A well-designed scheme should guide students' attention, show a relationship, explain a process, or support comparison. If visuals are used without explanation or with excessive detail, they may create confusion rather than improve understanding. In the methodological literature, special attention is also given to the active role of students in visual learning. Models and schemes are more effective when students do not only look at them but also construct, complete, compare, and explain them. For example, students may build a model of glycine or alanine, label the amino and carboxyl groups, complete a peptide bond formation scheme, or create a concept map showing the biological role of amino acids. Such tasks transform students from passive recipients of information into active participants in the learning process. This approach develops not only knowledge of amino acids but also observation, analysis, classification, explanation, and scientific communication skills.

The reviewed literature allows us to conclude that visual and graphic methods are especially suitable for teaching topics that contain abstract molecular structures and complex conceptual relationships. Amino acids belong exactly to this group of topics. Their teaching requires the integration of organic chemistry, biochemistry, biology, and everyday life examples. Therefore, the role of models and schemes is not limited to simplifying the material. They create conditions for deeper conceptual understanding, support the connection between chemical structure and biological function, and help students form a more complete scientific view of amino acids. Thus, the literature confirms that the effective teaching of amino acids should be based on multiple representations. Structural formulas, molecular models, reaction schemes, diagrams, tables, and concept maps should be used as interconnected didactic tools. Their purposeful application helps students understand amino acids not as isolated

formulas to be memorized, but as biologically important molecules whose structure determines their properties and functions.

RELEVANCE OF THE RESEARCH

The relevance of this research is related to the need for more effective methods in teaching abstract chemistry topics such as amino acids. Amino acids connect organic chemistry, biochemistry, biology, nutrition and medicine, but students often find this topic difficult because it includes molecular structure, functional groups, amphoteric properties, zwitterion formation and peptide bond formation. Traditional explanation based only on formulas and definitions is not always enough for meaningful understanding. Students may memorize the structure of amino acids, but they may not clearly understand how amino and carboxyl groups determine their chemical behavior or how peptide bonds lead to protein formation.

Therefore, the use of visual and graphic methods is especially important. Molecular models, structural schemes, diagrams, concept maps and comparative tables make invisible molecular processes more understandable and systematic. These methods help students connect chemical formulas with molecular structure and biological function.Thus, the relevance of the study lies in showing how models and schemes can improve the teaching of amino acids, develop students' spatial imagination, analytical thinking and interdisciplinary understanding, and support the transition from memorization to meaningful learning.

METHODOLOGY

This study is based on a pedagogical and methodological analysis of the use of visual and graphic methods in teaching the topic of amino acids. The research was designed to determine how molecular models, structural schemes, diagrams, concept maps, and comparative tables can support students' understanding of the structure, properties, and biological significance of amino acids. Since the topic combines elements of organic chemistry, biochemistry, and biology, the methodology was developed as an integrative teaching model that connects chemical concepts with visual representation and practical classroom activity. The methodological approach of the study is qualitative and descriptive in nature. It focuses on the analysis, selection, and didactic organization of visual tools that may be used during the teaching of amino acids. The study does not treat visual materials as simple illustrations, but as purposeful teaching instruments that help students build conceptual connections. For this reason, each model, scheme, or diagram was considered according to its pedagogical function: explaining structure, showing relationships, demonstrating chemical transformation, supporting classification, or helping students summarize knowledge.

The research methodology includes three main directions: theoretical analysis, methodological modeling, and didactic interpretation. First, theoretical and methodological literature related to visual learning, multiple representations, chemistry education, and the teaching of organic compounds was analyzed. Special attention was given to the difficulties students face when learning abstract chemical concepts. Second, a visual teaching model for amino acids was developed. This model includes a sequence of lesson stages in which different types of visual and graphic tools are applied. Third, the expected educational effects of these tools were interpreted from the point of view of students' conceptual understanding, spatial thinking, interdisciplinary learning, and active participation.

The content of the teaching model was organized around the key chemical concepts of the amino acid topic. These concepts include the general structure of amino acids, the amino group, the carboxyl group, the side chain, amphoteric properties, zwitterion formation, peptide bond formation, and the relationship between amino acids and proteins. Each concept was matched with a suitable visual or graphic method. For example, the general structure of amino acids was explained through a labeled structural scheme; the difference between amino acids was demonstrated through comparative molecular models; amphoteric properties were presented through a proton-transfer diagram; and peptide bond formation was shown through a step-by-step reaction scheme.The proposed methodology may be applied in secondary school chemistry lessons, university-level general chemistry classes, and teacher training courses. The lesson structure consists of several interconnected stages.

At the first stage, a problem situation is created to activate students' prior knowledge and interest. The teacher may ask questions such as: "Why are amino acids called the building blocks of proteins?" or "How can one molecule behave both as an acid and as a base?" These questions encourage students to think about the chemical and biological importance of amino acids before receiving theoretical information. At this stage, a simple visual image of protein-containing foods or a schematic connection between amino acids and proteins may be used to create motivation.At the second stage, students are introduced to the general structure of amino acids. A structural formula is presented on the board or screen, and students identify the central carbon atom, amino group, carboxyl group, hydrogen atom, and side chain. This stage is important because many later concepts depend on the correct understanding of the basic structure. To strengthen comprehension, students may be asked to label the parts of the molecule or complete an unfinished structural scheme.

At the third stage, molecular models are used to explain the spatial structure of amino acids. Physical ball-and-stick models or digital 3D models can be applied. Students observe that the molecule is not a flat formula, but a three-dimensional structure. They compare simple amino acids such as glycine and alanine and identify how the side chain changes the molecule. This activity develops spatial imagination and helps students understand the relationship between structure and properties. At the fourth stage, graphic classification is used. Amino acids are classified according to the nature of their side chains: nonpolar, polar, acidic, and basic. This classification may be presented through a table, cluster, or concept map. Students analyze how the side chain affects solubility, polarity, charge, and biological function. This stage helps students systematize information and avoid mechanical memorization.

At the fifth stage, the amphoteric properties of amino acids are explained through a reaction scheme. The teacher demonstrates how the carboxyl group can donate a proton and how the amino group can accept a proton. The formation of the zwitterion is shown step by step. This visual explanation allows students to understand why amino acids may contain both positive and negative charges in the same molecule. Students may then complete a similar scheme independently. At the sixth stage, peptide bond formation is modeled. The teacher shows how the carboxyl group of one amino acid reacts with the amino group of another amino acid, resulting in the release of water and the formation of a peptide bond. This process is presented as a condensation reaction. Students may use paper models, molecular kits, or a reaction diagram to show which atoms are removed and where the new bond is formed. This task helps students understand the chemical basis of protein formation.

At the seventh stage, interdisciplinary integration is carried out. A flow diagram is used to show the sequence: amino acid → dipeptide → polypeptide → protein → biological function. Students discuss the role of proteins in enzymes, muscles, hormones, immunity, and metabolism. This stage connects chemistry with biology and health education, helping students understand the practical significance of amino acids. At the final stage, reflection and assessment are organized through visual tasks. Students may be asked to create a concept map, explain a peptide bond scheme, compare two amino acids, or complete a table about functional groups and properties. These tasks allow the teacher to evaluate not only memorized knowledge but also conceptual understanding and the ability to apply chemical reasoning.

The following table summarizes the methodological organization of the teaching process:

Table 1.

Methodological Organization of Teaching Amino Acids through Visual and Graphic Methods

Lesson stage	Visual or graphic method	Didactic function
Motivation	Problem question, visual image, simple diagram	Activates interest and prior knowledge
Structural explanation	Labeled structural scheme	Helps identify functional groups
Spatial understanding	Molecular model or 3D representation	Develops spatial imagination
Classification	Comparative table, cluster, concept map	Organizes knowledge systematically
Amphoteric properties	Proton-transfer scheme	Explains zwitterion formation
Peptide bond formation	Step-by-step reaction diagram	Shows chemical transformation
Interdisciplinary connection	Flow diagram	Connects chemistry with biology
Reflection and assessment	Concept map, incomplete scheme, comparison task	Checks conceptual understanding

The effectiveness of the proposed methodology can be assessed through students' classroom performance, oral explanations, written answers, completed diagrams, and concept maps. Particular attention should be paid to whether students can correctly identify functional groups, explain the amphoteric nature of amino acids, describe peptide bond formation, and connect amino acid structure with protein function. These indicators show whether students have moved beyond memorization toward meaningful understanding. Thus, the methodology of this study is directed toward the purposeful integration of visual and graphic methods into the teaching of amino acids. The proposed model allows the teacher to present the topic in a clear, logical, and student-centered way. It supports the development of chemical thinking, spatial imagination, interdisciplinary understanding, and active learning skills.

EXPERIMENTAL

The experimental part of the study was carried out to determine the effectiveness of visual and graphic methods in teaching amino acids. The main aim was to compare students' understanding of amino acid structure, functional groups, amphoteric properties, zwitterion formation, and peptide bond formation before and after the use of models and schemes. The experiment involved two groups: a control group and an experimental group. In the control group, the topic was taught mainly through traditional explanation, textbook material, and formulas. In the experimental group, the same topic was taught using molecular models, structural schemes, reaction diagrams, comparative tables, and concept maps. At the beginning, both groups completed a diagnostic task to determine their prior knowledge. The results showed that many students could remember definitions, but had difficulty explaining the relationship between amino acid structure and chemical properties. In the experimental group, the lesson started with the problem question: "Why are amino acids called the building blocks of proteins?" Then the general structure of amino acids was explained through a labeled structural scheme. Students identified the amino group, carboxyl group, central carbon atom, hydrogen atom, and side chain.

At the next stage, molecular models were used to compare simple amino acids such as glycine and alanine. This helped students understand that amino acids are three-dimensional molecules and that the side chain plays an important role in their properties. The amphoteric nature of amino acids was explained through a proton-transfer scheme. Students observed how the carboxyl group donates a proton and the amino group accepts it, leading to zwitterion formation. Peptide bond formation was then shown through a step-by-step reaction diagram, where students followed the release of water and the formation of a bond between two amino

acids. At the final stage, students prepared a concept map connecting amino acids with proteins, enzymes, nutrition, muscles, and metabolism. After the lesson, both groups completed a post-test. The results showed that students in the experimental group were more successful in identifying functional groups, explaining zwitterion formation, describing peptide bond formation, and relating amino acid structure to biological function. Thus, the experiment confirmed that visual and graphic methods make the teaching of amino acids clearer, more systematic, and more effective. These methods help students move from memorization to meaningful understanding.

RESULTS AND DISCUSSION

The results of the study showed that the use of visual and graphic methods had a positive influence on students' understanding of amino acids. In the initial diagnostic stage, students in both groups demonstrated similar difficulties. Most of them were able to define amino acids in general terms, but they had problems identifying functional groups, explaining amphoteric properties, and describing the formation of peptide bonds. Their answers were often based on memorized information rather than conceptual understanding. After the teaching process, noticeable differences were observed between the control and experimental groups. Students in the experimental group, where molecular models, schemes, diagrams, and concept maps were used, showed better results in explaining the structure and properties of amino acids. They were more successful in identifying the amino group, carboxyl group, central carbon atom, and side chain in structural formulas. This indicates that visual representation helped students understand the general structure of amino acids more clearly.

One of the most important results was related to the understanding of amphoteric properties. In the control group, many students explained this concept only by repeating that amino acids can behave both as acids and bases. However, students in the experimental group were able to explain the reason for this property by referring to the proton transfer between the carboxyl and amino groups. The use of a zwitterion formation scheme helped them understand the process step by step and connect the concept with molecular structure. The teaching of peptide bond formation also showed positive results. Students who worked with reaction diagrams and molecular models understood more clearly how the carboxyl group of one amino acid reacts with the amino group of another amino acid. They could explain the release of water and the formation of a new bond between amino acid residues. This demonstrates that graphic methods make chemical transformations more visible and easier to interpret.

The concept maps prepared by students in the experimental group showed that they were able to connect amino acids with proteins, enzymes, nutrition, muscles, hormones, and metabolism. This result is important because it proves that visual and graphic methods support interdisciplinary thinking. Students began to understand amino acids not only as chemical compounds, but also as biologically significant molecules. During classroom observation, it was also found that visual methods increased students' activity and interest. Students were more willing to participate in discussions, compare structures, complete schemes, and explain their answers. Molecular models encouraged them to work collaboratively and helped develop spatial imagination. Graphic organizers, such as tables and concept maps, helped them systematize knowledge and remember the material more effectively. The comparison of both groups showed that traditional explanation alone was less effective in forming deep understanding. In the control group, students mostly reproduced textbook definitions and had difficulty applying knowledge to new tasks. In contrast, students in the experimental group gave more complete and logically connected answers. They were able to explain the relationship between structure, properties, and biological function.

Thus, the results confirm that models and schemes play an important role in teaching amino acids. They reduce the abstractness of the topic, make molecular processes more understandable, and support the formation of chemical thinking. Visual and graphic methods help students move from passive memorization to active analysis and explanation. Overall, the findings suggest that the purposeful use of visual and graphic methods should be considered an effective methodological approach in teaching amino acids. These methods improve students' conceptual understanding, develop spatial and analytical thinking, and strengthen the connection between chemistry and biology. Therefore, molecular models, structural schemes, reaction diagrams, and concept maps can be recommended as important didactic tools in the teaching of amino acids.

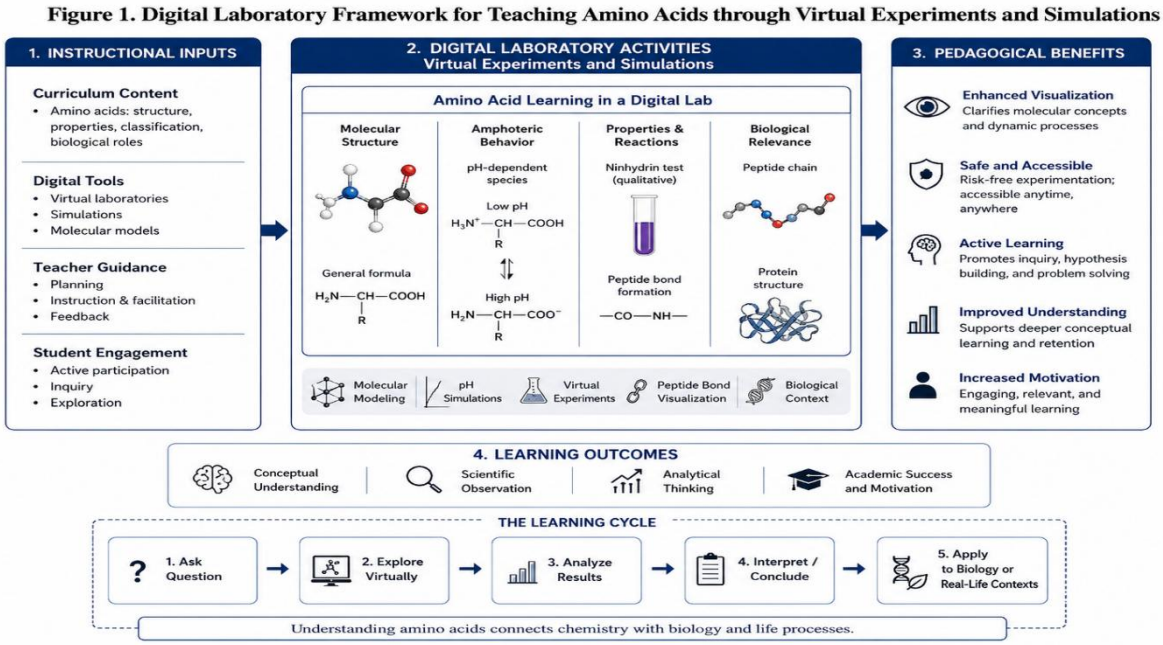


Figure 1. Digital laboratory framework for teaching amino acids through virtual experiments and simulations.

The diagram presents a methodological framework for teaching amino acids in a digital laboratory environment. It shows the relationship between instructional inputs, virtual laboratory activities, pedagogical benefits, assessment procedures, and expected learning outcomes. The framework emphasizes that digital simulations support the visualization of molecular structure, amphoteric behavior, peptide bond formation, and biological relevance, while teacher guidance ensures purposeful inquiry, feedback, and conceptual understanding.

SCIENTIFIC NOVELTY OF THE RESEARCH

The scientific novelty of the research lies in the methodological justification of visual and graphic methods as effective didactic tools in teaching amino acids. The study presents molecular models, structural schemes, reaction diagrams, concept maps and comparative tables not as simple illustrations, but as means of developing conceptual understanding.

The article proposes a visual teaching model for explaining the structure of amino acids, functional groups, zwitterion formation, amphoteric properties and peptide bond formation in a logical sequence. Another novelty of the research is that the topic of amino acids is interpreted through an interdisciplinary approach, connecting chemistry with biology, biochemistry, nutrition and medicine. The study also shows that the use of models and schemes helps students move from mechanical memorization to meaningful learning, develops their spatial imagination, analytical thinking and ability to explain chemical processes scientifically.

CONCLUSION

The study shows that the use of visual and graphic methods in teaching amino acids is an effective way to improve students' understanding of this complex topic. Amino acids include several abstract concepts, such as functional groups, amphoteric properties, zwitterion formation, peptide bond formation, and the relationship between molecular structure and biological function. When these concepts are taught only through verbal explanation and formulas, students often memorize the material without fully understanding it. The application of molecular models, structural schemes, reaction diagrams, comparative tables, and concept maps makes the topic clearer and more systematic. These tools help students identify the amino and carboxyl groups, understand the role of the side chain, explain the amphoteric nature of amino acids, and describe the formation of peptide bonds. Visual representation also supports the connection between chemistry and biology by showing how amino acids form peptides, proteins, enzymes, and other biologically important structures.

The results of the study indicate that students who learned the topic through models and schemes demonstrated better conceptual understanding than those who studied it through traditional methods. They were more successful in explaining chemical processes, comparing structures, completing reaction schemes, and relating amino acid structure to biological function. In addition, visual and graphic methods increased students' interest, activity, and participation during the lesson. Thus, models and schemes should be considered not only as illustrative materials, but also as important didactic tools in chemistry education. Their purposeful use helps students move from mechanical memorization to meaningful learning. The teaching of amino acids through visual and graphic methods develops students' spatial imagination, analytical thinking, scientific explanation skills, and interdisciplinary understanding.

In conclusion, the integration of visual and graphic methods into the teaching of amino acids can significantly improve the quality of chemistry lessons. This approach makes abstract molecular concepts more accessible and creates favorable conditions for active, meaningful, and student-centered learning.

References

1. Baland, E., Pérez Jimenez, L., et al. (2025). Teaching protein structure and function through molecular visualization. *Biochemistry and Molecular Biology Education, 53*(1). https://doi.org/10.1002/bmb.21860

2. Gómez Buitrago, P., Tobar-Muñoz, H., & Arteaga, D. (2024). Amino-Structure: A card game for amino acids learning in biochemistry classes. *Journal of Chemical Education, 101*(5), 2141–2148. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c01209

3. Gul, S., & Yalinkilic, F. (2025). Teaching of the subject "Biomolecules in Living Organisms" using 3D printing models. *Education and Information Technologies, 30*, 13213–13248. https://doi.org/10.1007/s10639-025-13355-5

4. Martin, H., Rocio, A., Nolan, N., & Klosterman, J. K. (2025). Accessible molecular models: A modular 3D-printed space-filling atomic model set and active learning modules for introductory organic chemistry. *Journal of Chemical Education, 102*(11). https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5c00518

5. Paschoal, C. R. S., et al. (2025). Didactic strategy based on molecular modeling tools for visualizing structures and teaching chemistry and biology in an integrated manner. *Orbital: The Electronic Journal of Chemistry*.

6. Phillips, A., Srinivas, A., Prentoska, I., O'Dea, M., Kustrup, M., Hurley, S., Bruno, S., Nguyen, V., & Lai, P. (2024). Teaching biologics design using molecular modeling and simulations. *Biochemistry and Molecular Biology Education, 52*(3), 299–310. https://doi.org/10.1002/bmb.21813

7. Procko, K., Beckham, J. T., Acevedo, R., Agrawal, S., Austin, S., Burch, C., Engelman, S., Fox, K. M., Genova, L. A., Mertz, P. S., Mitton-Fry, R. M., & Vardar-Ulu, D. (2025). Designing biochemical visual literacy assessments: Insights from classroom testing and student interviews. *Journal of Chemical Education, 102*(12), 5045–5058. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5c00134

8. Reaux, C. R., et al. (2025). Design of a TSR-based project learning strategy for biochemistry undergraduate teaching and research labs: A case study. *Frontiers in Education, 10*. https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1455173

9. Royal Society of Chemistry. (2024). *Amino acid worksheets: Teacher guidance*. Royal Society of Chemistry Education Resources.

10. Sheshanarayana, R., et al. (2025). Molecular representation learning: Cross-domain foundations and future directions. *Digital Discovery*. https://doi.org/10.1039/D5DD00170F

АКТУАЛЬНІСТЬ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВНУТРІФІРМОВОЇ ПІДГОТОВКИ РОБІТНИКІВ МОРСЬКОГО ПРОФІЛЮ У ПОВОЄННИЙ ПЕРІОД В УКРАЇНІ

Герганов Л.
д. п. н., професор, професор кафедри інженерних дисциплін,
Дунайський інститут Національного університету
«Одеська морська академія», Україна

CURRENT CHALLENGES AND PROSPECTS OF IN-COMPANY TRAINING FOR MARITIME PROFESSIONALS IN THE POST-WAR PERIOD IN UKRAINE

Herganov L.
Doctor in Pedagogical Sciences, Professor, Professor of the Engineering Department of the Danube Institute of the National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine
DOI: 10.5281/zenodo.20457725

Анотація

Завданням внутріфірової підготовки судноплавної компанії є досягнення рівня якості підготовки персоналу, який повністю відповідав би вимогам не тільки робочого місця, але й міжнародній Конвенції про підготовку і дипломування моряків та несення вахти 1978 року (з поправками) (Конвенція ПДНВ). При цьому необхідно витримати наступні умови, а саме: разом з керівництвом компанії визначити спектр спеціальностей і робіт, що потребують підготовки персоналу у повоєнній період; створити необхідні педагогічні умови для оптимізації навчального процесу за допомогою інноваційних педагогічних технологій; впровадити в освітній процес нові навчально-методичні матеріали; підготувати навчально-тренажерне обладнання для опрацювання й удосконалення робочих навичок необхідного рівня кваліфікації для роботи на суднах сучасного покоління.

Abstract

The objective of in-company training within a shipping company is to achieve a level of personnel competence that fully complies not only with workplace requirements but also with the requirements of the International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers, 1978, as amended (STCW Convention). In this context, it is necessary to ensure the following conditions: jointly with the company's management, to identify the range of specialties and types of work requiring personnel training in the post-war period; to create the necessary conditions for optimizing the educational process through the implementation of innovative pedagogical technologies; to introduce new educational and methodological materials into the training process; and to prepare modern training and simulator equipment aimed at developing and improving practical skills and professional competencies required for work on modern-generation vessels.

Ключові слова: внутріфірмова підготовка**,** морська освіта, робітник морського профілю, педагогічні технології, Конвенція ПДНВ, тренажерне обладнання.

Keywords: in-company training, maritime education, maritime professional personnel, pedagogical technologies, STCW Convention, simulator training equipment.

Визначення проблеми. Система підготовки, перепідготовки, дипломування та підвищення кваліфікації робітників морського профілю на підприємстві (внутріфірмова система навчання) на сучасному етапі збереження України як морської держави є ключовим елементом стратегічного управління підприємств морського транспорту, оскільки вона формує та розвиває професійні компетентності працівників відповідно до вимог не тільки ринку праці на флоті, але й чітко виконує вимоги Міжнародної конвенції про підготовку і дипломування моряків та несення вахти 1978 року (Конвенція ПДНВ) [1]. У морегосподарському комплексі професійної підготовки персоналу завжди приділялося значна увага тому, що праця на морі є небезпечною та специфічною діяльністю, яка керується значною кількістю міжнародних документів до безпеки судноплавства: МОРПОЛ (конвенція з перевезення небезпечних вантажів), СУЯ (система управління якістю), МКУБ (управління безпечною експлуатацією суден), СОЛАС (конвенція з охорони життя на морі), СУБ (система управління безпекою) та ін. Система внутріфірмової підготовки персоналу строго регламентована Законом України «Про професійний розвиток працівників» (зі змінами) № 13 від 2020 р., де визначено, що організація професійного навчання працівників здійснюється роботодавцями з урахуванням потреб власної господарської або іншої діяльності згідно з вимогами законодавства щодо організації професійного навчання працівників, стимулювання їх професійного зростання, забезпечення підвищення кваліфікації безпосередньо у роботодавця, проведення аналізу результатів атестації та здійснення заходів щодо підвищення професійної компетентності працівників тощо [2].

Особливість цієї професійної підготовки визначається як – взаємопов'язаний комплекс організаційно-педагогічних та навчально-методичних заходів, спрямованих на підготовку, перепідготовку та підвищення кваліфікації робітників морського профілю для забезпечення підприємства кваліфікованим персоналом та швидку адаптацію їх до змін

виробництва у повоєнний період згідно вимог до системи якості перевезення вантажів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На основі вивчення наукового доробку означеної проблеми вітчизняних та зарубіжних вчених, предметом дослідження яких є проблема професійної підготовки фахівців морського профілю, відображено у наукових дослідженнях вчених: Безлуцької О., М.Братко, В. Бикова, С. Волошинова, С. Гончаренко, А. Гуржія, Р. Гуревича, Л.Герганова, О. Гриб'юк, І. Зязюна, О. Дендеренко, В. Дуліна, В. Кузьменко, М. Макаренко, Н. Ничкало, І. Рябухи, В. Ягупова та ін. Однак їх дослідження були більш сконцентровані на підготовку робітничих кадрів через систему професійно-технічної освіти у мирний час, що значно різниться з сучасним періодом.

Також зарубіжних вчених з проблематики професійної підготовки фахівців на виробництві (З. Вятровський, Т Новацький, Я. Карней, Д. Клюс–Станська та ін.), засвідчують значну увагу до вивчення особливостей та актуальності формування професійної компетентності фахівців, що значно підвищують рівень адаптації фахівців до виконання професійних обов’язків в особливих умовах.

Відокремлення невирішених аспектів проблеми. У морській галузі в системі внутріфірмової підготовки згідно програм теоретичного та практичного навчання плавскладу, також обов’язковою є тренажерна підготовка, яка спрямована на демонстрацію отриманих навичок у небезпечних та аварійних ситуаціях, з наступною їх оцінкою по критеріям компетентності на рівні, не нижчому які встановлені мінімальними стандартами компетентності Конвенцією ПДНВ.

Для цілісного уявлення про сутність системи внутріфірмової підготовки, перепідготовки та підвищення кваліфікації робітничих кадрів на підприємстві, систематизуємо її у таблиці 1

Таблиця 1

Напрями професійно-кваліфікаційної системи підготовки та підвищення кваліфікації кадрів на підприємстві

Напрям підготовки	Кінцевий результат
Програма професійної підготовки (освітній)	Отримання нових, закріплення та розширення теоретичних знань і практичних навичок плавскладу.
Національна рамка кваліфікацій (кваліфікаційний)	Відповідність професійних знань і навичок працівника вимогам конкретної посади на судні (суднова роль).
Нормативно-правовий (регуляторний)	Комплектування екіпажів суден згідно судової ролі, що встановлює єдиний порядок працевлаштування, стажування та професійної підготовки.
Конвенція ПДНВ (мінімальні стандарти компетентності)	Критерії та показники для визнання професійної компетентності після завершення обов'язкової демонстрації на тренажерному устаткуванні на рівні міжнародних стандартів та отримання робочого диплому
Нормативний документ СУБ	Готовність екіпажу діяти в небезпечних та аварійних ситуаціях (наявність обов’язкових сертифікатів згідно вимог).
Стратегічний (програмно-цільовий)	Управління судновими екіпажами компанії, яка орієнтована на довгостроковий розвиток підприємства у повоєнний період.

С погляду на ситуацію, яка склалася в Україні, слід чітко вирішити проблему поповнення кадрами плавскладу судноплавних компаній у повоєнний період експлуатації суден річка-море. Основною базою поповнення флоту рядовим складом завжди були професійно-технічні заклади освіти морського профілю. Однак у період воєнного стану значна їх частина була переміщена з районів бойових дій до інших міст, інші були прикриті з урахуванням відсутності проходження плавальної практики. На підприємствах і судноплавних компаніях система внутріфірмового навчання зберіглася і стає головним центром, що подовжує виконувати свої функції по забезпеченню флоту кадрами плавскладу. Таким чином маємо можливість заздалегідь розпочати роботи по відродженню кадрів плавскладу з урахуванням набутого досвіду роботи у період воєнного стану та вимог до професійної компетентності для експлуатації суден сучасного покоління.

Метою статті є наукове обгрунтування педагогічних умов професійного навчання персоналу в умовах внутріфірмової підготовки для роботи на сучасних суднах під національним прапором України у повоєнний період.

Основний матеріал. Згідно проведеного аналізу наявності та професійної компетентності рядового плавскладу для забезпечення екіпажів річкового та морського флоту, (на прикладі ПрАТ «Українське Дунайське пароплавство») було визначено, що для його поповнення і нормальної роботи у повоєнний період, необхідно розробити та впровадити в практику внутріфірмової підготовки (на базі Відокремленого підрозділу «Учбовий центр ПрАТ УДП») наступні педагогічні умови:

1. Підвищення рівня компетентності та кваліфікації персоналу, з урахуванням досвіду роботи суден у період воєнного стану, що передбачає доповнення навчальних планів і програм матеріалом з набутих додаткових нових знань та навичок, їх систематизацію, закріплення та розширення з використанням тренажерних устаткувань для здатності

розв'язувати складні ситуації в умовах роботи судна при недостатньої інформації. Вміння застосовувати сучасні інформаційні системи до аналізу інформації в небезпечних або аварійних ситуаціях. При цьому підприємство забезпечує - підвищення якості управлінських і виробничих рішень до комплектування суднових екіпажів; адаптивність командного і рядового складу до змін у міжнародних вантажоперевезеннях у повоєнний період, здійснює підбір та затвердження інструкторсько-викладацького складу для проведення навчання на курсах підготовки рядового плавскладу у навчальному закладі на підприємстві.

2. Підготовка персоналу до роботи на суднах нового покоління, шляхом впровадження педагогічних інновацій во внутріфірмову підготовку. Доопрацьовується вся навчально-методична документація на предмет оновлення, з урахуванням використання нового суднового обладнання, сучасних радіонавігаційних та електронних систем, формування досвіду роботи з інформаційними та управлінськими системами, а також опануванні методів енергоефективного використання ресурсів для підвищення ефективності діяльності підприємства. Проводить зміну в програмах підготовки екіпажу судна до дій в аварійних ситуаціях; визначає ідентифікацію та проводить нівелювання ризиків через тренінг- навчання; забезпечує дотримання екіпажем судна вимог МКУБ і МАРПОЛ. При цьому підприємство підтримує - мінімізацію операційних і техногенних ризиків та захист довкілля.

3. Контроль за безпекою судноплавства та якістю професійної підготовки, що спрямоване на підготовку екіпажу судна на тренажерному обладнанні, до дій у небезпечних та аварійних ситуаціях, виявлення та мінімізацію ситуацій з виникнення ризиків через відповідні процедури навчання, а також на контроль якості підготовки персоналу шляхом демонстрації дій на тренажерному устаткуванні та оцінки їх компетентності. При цьому підприємство забезпечує - підтримання рівня компетентності не нижче міжнародних стандартів (ПДНВ); легалізацію допуску до роботи на судна персоналу у відповідності з вимогами ISO 9001 та галузевим стандартом.

4. Мотивування до роботи на флоті у повоєнний період та подальшого кар'єрного росту персоналу, що включає формування кадрового резерву підприємства через стажування і дублювання посад, стимулювання до підвищення кваліфікації шляхом отримання сертифікатів і дипломів в профільних навчальних закладах за направленням підприємства, а також проходження працівниками курсів щодо моніторингу та вивчення змін у законодавстві, що підвищує їхню професійну обізнаність та впевненість при виконанні професійних обов'язків [3, С.70 - 71].

Підприємство при цьому забезпечує - атестацію та оцінку компетентності персоналу; формування кадрового резерву; документальне підтвердження кваліфікації, прозоре кар'єрне зростання, кадрову стабільність.

Організація навчального процесу внутріфірмової підготовки є ключовим завданням судноплавної компанії, оскільки саме вона визначає структуру, зміст, послідовність та рівень якості підготовки плавскладу до роботи на міжнародних лініях у повоєнний період роботи флоту. Відповідність програм сучасним міжнародним вимогам забезпечує чітку практичну спрямованість навчання. Демонстрація та оцінка компетентності дозволяють визначити професійну компетентність персоналу при виконанні своїх професійних обов'язків на судні. Такий підхід створює прийняття обґрунтованих управлінських і кадрових призначень на судна компанії без затримання доставки вантажів до міст призначень. Оновлення теоретичних знань досвідом роботи суден у період воєнного становища, забезпечує динамічний характер системи підготовки, що особливо важливо в умовах швидкого розвитку технологій і постійних змін у нормативно-правовому середовищі. Управління ризиками у період навчання спрямоване на попередження зниження ефективності підготовки плавскладу, зокрема через кадрові, організаційні або ресурсні обмеження, а своєчасне реагування на такі ризики підвищує результативність якості підготовки плавскладу в цілому. Забезпечення зворотного зв'язку дає змогу оцінити якість і практичну цінність навчання з позиції його безпосередніх учасників, що є підґрунтям для подальшого вдосконалення програм. Формування кадрового резерву має стратегічне значення, оскільки дозволяє забезпечити безперервність управління, планомірне кар'єрне зростання персоналу та адаптацію підприємства до майбутніх викликів [4, С.203-204].

Висновки та пропозиції. Отже, розглянуті цілі та завдання системи підготовки та підвищення кваліфікації кадрів на підприємстві дають можливість констатувати, що вона спрямована на формування, підтримання та розвиток професійної компетентності командного та рядового складу. Забезпечення відповідності підготовки плавскладу сучасним вимогам ринку морської праці та міжнародним стандартам компетентності, мінімізація екологічних і техногенних ризиків, а також готовність екіпажів суден до роботи у період виникнення міжнародних конфліктів є основою для формування кадрового резерву та надійним інструментом для прийняття ефективних управлінських і виробничих рішень для рентабельності роботи флоту у повоєнний період. Таким чином, система внутріфірмової підготовки та підвищення кваліфікації кадрів виступає я один з стратегічно значущих факторів в надійному управлінні флотом при перевезенні вантажів на міжнародних лініях, що забезпечує його стабільність, конкурентоспроможність та готовність до реагування на сучасні виклики.

Список літератури

1. Міжнародна конвенція про підготовку і дипломування моряків та несення вахти 1978 року (консолідований текст з манільськими поправками) – К. : ВПК «Експрес– Поліграф», 2012. 568с.

2. Закон України «Про професійний розвиток працівників» (зі змінами) № 13 від 2020 р.

3. Герганов Л. Д. Психолого-педагогічна підготовка інструкторсько-викладацького складу для професійного навчання кваліфікованих робітників морського профілю. Професійне навчання на виробництві: зб. наук. пр. Київ: Вид-во ТОВ «ІМА-прес», 2015. Вип. 6. С. 70-71.

4. Герганов Л. Д. Професійна підготовка кваліфікованих робітників морського профілю на виробництві: теорія і практика: монографія. Дніпропетровськ: ІМА-прес, 2015. С.203-204.

PHILOLOGY

АУДАРМА ТРАНСФОРМАЦИЯСЫ ҰҒЫМЫНЫҢ ТЕОРИЯЛЫҚ-ПРАГМАТИКАЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ ЖӘНЕ ОНЫҢ АУДАРМАТАНУ ҒЫЛЫМЫНДА ЗЕРТТЕЛУІ

Абуова А.Т.
Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті
Әлем тілдер факультеті
Шығыс филологиясы және аударма кафедрасының
PhD, аға оқытушысы
ORCID: 0000-0002-5003-6090

THEORETICAL AND PRAGMATIC FOUNDATIONS OF THE CONCEPT OF TRANSLATION TRANSFORMATION AND ITS STUDY IN TRANSLATION STUDIES

Abuova A.
Abai Kazakh National Pedagogical University
Faculty of World Languages
Department of Oriental Philology and Translation
PhD, Senior lecturer
ORCID: 0000-0002-5003-6090
DOI: 10.5281/zenodo.20457758

Аңдатпа

Мақалада аударма трансформациясы ұғымының теориялық негіздері мен аударматану ғылымындағы орны қарастырылады. Зерттеуде аударма процесінің лингвистикалық, когнитивтік және мәдениетаралық сипаты талданып, аударма трансформацияларының эквиваленттілікке қол жеткізудегі маңызы айқындалады. В.Н. Комиссаров, Л.С. Бархударов, А.Д. Швейцер, Я.И. Рецкер, Р.К. Миньяр-Белоручев, Ә. Тарақов және басқа ғалымдардың ғылыми тұжырымдары негізінде аударма трансформацияларының мазмұндық, құрылымдық және функционалдық ерекшеліктері сараланады. Сонымен қатар аударманың денотативті, трансформациялық және семантикалық модельдері қарастырылып, олардың аударма процесін түсіндірудегі рөлі анықталады. Зерттеу нәтижесінде аударма трансформацияларының тілдік өзгеріс қана емес, мағыналық және мәдени бейімдеудің күрделі механизмі екендігі дәлелденеді.

Abstract

The article examines the theoretical foundations of translation transformation and its place within translation studies. The research analyzes the linguistic, cognitive, and intercultural nature of the translation process and determines the significance of translation transformations in achieving equivalence. Based on the scholarly views of V.N. Komissarov, L.S. Barkhudarov, A.D. Schweitzer, Ya.I. Retsker, R.K. Minyar-Beloruchev, A. Taraqov, and other researchers, the semantic, structural, and functional features of translation transformations are explored. In addition, the denotative, transformational, and semantic models of translation are considered, and their role in explaining the translation process is identified. The study proves that translation transformations are not merely linguistic changes, but also a complex mechanism of semantic and cultural adaptation.

Тірек сөздер: аударма трансформациясы, денотативті теория, трансформациялық теория, семантикалық теория, тіларалық коммуникация, мәдениетаралық коммуникация.

Keywords: translation transformation, denotative theory, transformational theory, semantic theory, interlingual communication, intercultural communication.

Отандық аударматану ғылымының көрнекті өкілдерінің бірі Әнуар Тарақов аударма процесін тек тілдік құбылыс ретінде ғана емес, халықтар арасындағы рухани, әлеуметтік және мәдени байланыстарды жүзеге асыратын күрделі коммуникациялық жүйе ретінде қарастырады. Ғалымның пікірінше, аударма үдерісі ұлттар арасындағы тілдік қатынастармен қатар, әлеуметтік, саяси, экономикалық және мәдени ықпалдастықтың дамуына тікелей әсер ететін көпқырлы феномен болып табылады. Бұл көзқарас аударманың қазіргі жаһандану жағдайындағы стратегиялық маңызын айқындап, оны мәдениетаралық коммуникацияның негізгі тетіктерінің бірі ретінде тануға мүмкіндік береді.

Ә. Тарақов аударманың қызметтік табиғатын саралай отырып, оның тек ақпарат жеткізу құралы емес, сонымен бірге ұлттық дүниетаным мен мәдени құндылықтарды өзге тілдік кеңістікке бейімдеп жеткізетін интеллектуалдық әрі когнитивтік әрекет екендігін көрсетеді. Осыған байланысты ғалым аударма процесіне төмендегідей ғылыми анықтама береді: «Аударма процесі – ұлт пен ұлттың тілдік, әлеуметтік, саяси- экономикалық қатынастарына әсер ететін күрделі де жан-жақты сала. Оның қызметін саралай келе, төмендегіше анықтама беруге болады:

«Аударма» сөзінің астарында белгілі бір тілдегі сөйлеу тілін – ауызша немесе жазбаша мәтінді, сөзді басқа тілде қайталап жеткізу саналады. Аударма процесі (оның нәтижесі) қостілділік жағдайында, яғни бұл қатынас үрдісінде екі тілдің қатысуы негізінде, демек тіларалық жағдайда өтеді.

Сондықтан аударманы ауызша немесе жазбаша мәтінді тіларалық қайта құрастыру немесе трансформациялау деп анықтауға болады. Сонымен бірге аударма бір тілде айтылған ойларды (сезімдер мен эмоция) басқа тілдік құралдармен жеткізу барысында айқындалады немесе бір тілдегі (негізгі тілдегі) материалды басқа тілдегі (аударма тілі) баламалық мәтіндік материалмен ауыстыру болып табылады. Осылайша аударма процесі қостілділік жағдайының шартындағы психолингвистикалық қызметтің күрделі түрі саналады» [1, 7].

Жалпы, «аударма» сөзінің бұдан өзге де бірнеше анықтамасы бар. В.Н. Комиссаровтың пайымдауынша: «Аударма – бұл түпнұсқа мәтінді оған коммуникативтік тұрғыдан тең мәтінмен алмастыру жүзеге асырылатын тілдік дәнекерлік түрі» [2, 29]. Ал И.С. Алексееваның пікірі бойынша: «Аударма – өзге тілдегі түпнұсқаға жан-жақты бағдарланған тілдік дәнекерлік түрі» [3, 55].

Аударма түпнұсқада қамтылған хабарламаның өзге тілде берілу формасы ретінде қарастырылады. Аударманың қатысуымен жүзеге асырылатын тіларалық коммуникация тікелей сөздік қатынастың орнатылуына жағдай жасайды, мұндайда коммуниканттар бір тілдің көмегіне жүгінеді. Аударманың лингвистикалық теориясының пәні тіларалық трансформация ретіндегі аударма процесін, яғни бір тілдегі мәтінді өзге тілдегі оған эквивалент мәтінге түрлендіру процесін ғылыми тұрғыдан сипаттау болып табылады [4, 41].

Аударманы жүзеге асыратын аудармашы болғандықтан, осы терминнің мәнін анықтап алған жөн. Әнуар Тарақов аудармашы терминін қарастыра келе, оған «аудармашы – адамзат білімі мен қызметінің әр саласынан мәліметтер, деректерді бірегей жинаушы» - деген анықтама береді [5, 235].

Енді аудармашының аударма жасау кезінде қолданатын тәсілдерін, нақтырақ айтқанда аударма трансформацияларын, олардың қолданылу ерекшеліктерін қарастырайық. В.Н. Комиссаровтың тұжырымдамасы бойынша, түпнұсқа мәтіннің бірліктерінен аударма мәтіннің бірліктеріне өтуді жүзеге асыруға болатын түрлендірмелер аударма трансформациялары (тіларалық трансформациялар) деп аталады [6, 18].

«Трансформация – аударма тәсілдерінің көбісінің негізі. Бұл бойынша түпнұсқадағы берілуі тиіс ақпараттарды сақтай отырып, бастапқы мәтіннің формальді (лексикалық және грамматикалық трансформациялар) немесе семантикалық (семантикалық трансформациялар) компоненттерін өзгерту көзделеді» [7, 201]. Я.И. Рецкер аударма трансформацияларына «шет тіліндегі сөздің жалпы контексттегі мағынасын ашуға және оның өзге тілдегі баламасын табуға көмектесетін логикалық ойлау тәсілдері» деген анықтама береді [8, 38].

Аударма транформацияларының анықтамаларын құрастыру қаншалықты жеңіл болғанымен, аудармашының оларды тәжірибеде қолдануы соншалықты күрделене түседі. Бұл мақсатқа жету аудармашының талмай еңбек етуін талап етеді. Аударматанушылар арасында осы терминді түсіндіруге қатысты бірізді келісушілік жоқ. Ең әуелі, «трансформация» термині «трансформациялық грамматиканың» пайда болуымен байланыстырылады. Трансформациялық грамматика бірдей мазмұн жоспарымен сипатталатын, бірақ бір-бірінен жеткізу жоспары бойынша өзгешеленетін синтаксистік құрылымдардың жасалу ережелерін қарастырады. Трансформация ережелеріне сәйкес, бастапқы (ядролық) құрылымнан қалған құрылымдар (трансформалар) шығарылады, немесе керісінше, соңғылары ядролық құрылымға кіріктіріледі.

Л.С. Бархударовтың пікірінше: «аударма трансформациялары – бұл қос тілдің формальді және семантикалық жүйелеріндегі өзгешеліктерге қарамастан, аударма эквиваленттілігіне (барабарлығына) қол жеткізу мақсатында жүзеге асырылатын түрлендіру әрекеттері» [4, 190].

А.Д. Швейцер: «аударматанудағы «трансформация» термині метафоралық мағынада қолданылады. Шынында, мұнда бастапқы және соңғы аударма бірліктері арасындағы ара қатынас, аудару барысында бір форманы екіншісімен ауыстыру туралы сөз болып отыр…» - деп жазады [9, 118].

В.Г. Гак аударма трансформацияларын: «қос тілде кездесетін изоморфалық құралдардан алшақтауы,» - деп түсінеді [10, 63]. Изоморфалық құралдар бірдей детонативті мағынасымен және грамматикалық біртиптілігімен сипатталатын жүйелі эквиваленттер болып табылады. Сондай-ақ оның пікірінше, «аударма трансформациялары жиі жағдайда сөздерді немесе грамматикалық формаларды екінші реттік функцияларда (жалпылау, транспозиция, десемантизация) қолданудан көрініс табады» [10, 69]. Егер тілдік элемент бастапқы функцияда, яғни өзінің тікелей мағынасында қолданылса, тіларалық жүйелі эквивалент болған жағдайда сөзбе-сөз аударма қолданылады.

Р.К. Миньяр-Белоручев аударманы: «адресатқа оның ойында бастапқы мағынаны, эстетикалық әсерді қалыптастыра алатын қандай да бір ақпаратты беру» түрінде қарастыратындықтан, ол трансформациялардың мәнін де «бастапқы мәтіннің жеткізілуі тиіс ақпараттарын сақтай отырып, оның формальді (лексикалық және грамматикалық трансформациялар) немесе семантикалық (семантикалық трансформациялар) компоненттерін өзгерту,» - деп түсінеді [11, 201].

Аударма жасау кезінде жекелеген тілдердің жүйелеріндегі белгілі бір ерекшеліктерге негізделетін кейбір трансформациялар мәжбүрлі сипатта келеді. Сондай-ақ мұндай ерекшеліктерге негізделмеген, бірақ мәтіннің коммуникативтік-функционалдық сипаттарын сақтау үшін қажетті аударма трансформациялары да ажыратылады. Аударма трансформацияларының сипаты жекелеген әр жағдайға қатысты істің сырт көрінісіне ғана мән берушілікті болдырмауды қажет ететін жағдайларды айқындауға мүмкіндік береді.

Аудару процесін бір тілдік форманы екіншісіне түрлендіру түрінде қарастыру шартты сипатқа ие. Турасын айтқанда, аударма жасау барысында түпнұсқа мәтіннің бірліктері өзгеріссіз

қалады, ал аудармашы оған аударма тілінде коммуникативтік тұрғыдан тең бірліктерді іздейді. Осы арқылы мәтіннің мағынасы «қайтадан беріледі», яғни түпнұсқа мәтін мен аударма мәтінінің арасында «аударма бірліктері түпнұсқа мәтіннің бірліктеріне қандай да бір манипуляцияларды қолдану арқылы алынады» деп шартты түрде сипатталуы мүмкін белгілі бір қатынастар анықталады [12, 112].

Аударма трансформацияларының анықтамасын беруге бағытталған мұндай талпыныс бастапқы мәтін мен аударма мәтінінің элементтері арасындағы қатынастарды шартты түрде белгілеу түрінде қарастырылады. Аударма трансформацияларының шартты сипаты олардың аудармашының нақты әрекеттеріне емес, аударма процесіне қатысты қолданылуымен түсіндіріледі. Себебі, бұл процесс аудармашының миында жүзеге асатындықтан, ешбір жағдайда көзге көрінбейді [13, 172]. Осыған байланысты, аударма трансформацияларын мәтіннің бастапқы және соңғы үзінділерін салыстыру арқылы сипаттауға тура келеді.

Аударма трансформациялары мәселесі қазіргі аударматану ғылымының, салыстырмалы лингвистиканың және функционалды стилистиканың өзекті зерттеу нысандарының бірі болып табылады. Бұл құбылыс тілдік құрылымдардың, мәдени-концептуалдық жүйелердің және коммуникативтік мақсаттардың сәйкестігін қамтамасыз ету үдерісі ретінде қарастырылады. Аударма барысында түпнұсқа мәтіннің мазмұны мен прагматикалық әсерін сақтау мақсатында әртүрлі трансформациялық тәсілдер қолданылады. Сондықтан аударма трансформациялары тілдік бірліктерді формалды алмастыру ғана емес, мағыналық, құрылымдық және мәдени бейімдеудің күрделі когнитивтік механизмі ретінде танылады.

Аударма теориясы салыстырмалы түрде жас ғылыми сала болғанымен, XX ғасырдың екінші жартысынан бастап қарқынды дамып, қазіргі таңда дербес ғылыми парадигма ретінде қалыптасты. Бұл бағытта лингвистикалық, коммуникативтік, функционалдық, когнитивтік және мәдениетаралық аударма теориялары кеңінен зерттелді. Әсіресе, аудармадағы баламалылық, адекваттылық, трансформация және аударма бірлігі ұғымдары ғылыми дискурстың негізгі категорияларына айналды. Аталған мәселелерді зерттеуде шетелдік және отандық ғалымдардың еңбектері маңызды теориялық негіз қалыптастырды.

Ғылыми әдебиеттерді талдау аударма бірлігі ұғымының көпқырлы әрі күрделі категория екендігін көрсетеді. Аударма бірлігі мәтіндегі жеке сөзден бастап, сөз тіркесі, сөйлем, контекст немесе тұтас дискурс деңгейіне дейінгі құрылымдарды қамтиды. Бұл ұғым аудармашының мәтінді қабылдау, талдау және қайта құрастыру әрекеттерімен тікелей байланысты. Осыған сәйкес аударма теориясында тілдік деңгейлер арасындағы сәйкестік, мағыналық трансформация және стилистикалық бейімдеу мәселелері жан-жақты қарастырылады.

Осы ғылыми тұжырымдарға сүйене отырып, зерттеу жұмысында аударма бірлігі түсінігінің теориялық негіздері мен аударма теорияларының негізгі бағыттарына жүйелі түрде тоқталу қажеттілігі туындайды. Сонымен қатар аударма трансформацияларының тілдік, семантикалық және прагматикалық ерекшеліктерін талдау қазіргі аударматану ғылымындағы өзекті мәселелердің бірі болып табылады.

Аударма теориясының күрделі мәселелерінің бірі аударма бірлігінің анықтамасын беру болып табылады. Е.И. Белякованың пікірінше: «бірлік – тұтас құрылымның оның мағынасына нұқсан келтірмейтін минималды жеке бөлігі» [14, 55].

Аударма бірліктері – аударылуы тиіс минималды бірліктер немесе аударма эквиваленттілігі бірліктері, яғни бастапқы тілдің аударма тілінде эквиваленті бар бірліктері. «Аударма бірлігі» терминін Ж. Вине мен Ж. Дарбельне ұсынған. Бұл бірліктің өлшемдері мен сипатына қатысты пікірталастардан кейін ғалымдар бұл бірліктің өлшемдері тұрақты емес, олар өзгеріп отыруы мүмкін деген қорытынды жасайды.

Аударма процесінде түпнұсқа мәтіндегі барлық мағыналы бірліктер мен олардың компоненттері бөлшектеніп, оларға аударма тілінде тең мәндес немесе мазмұндас бірліктер таңдалып алынады. Осылайша, аударма жасау барысында бастапқы мәтіннің мағыналық компоненттеріне талдау жасалып, аударма тіліндегі материалдың мазмұны синтезделеді. Кез келген тілдік бірліктің әдеттегі құрамы қарапайым мағыналық, стилистикалық, стильдік және т.б. сипаттамалардан тұратын біртұтас құрылым ретінде қарастырылып, аударма тілінде оларға қатысты сәйкестіктер таңдалады. Мұндай саралау кезінде аударма процесі сөздер мен сөйлемдер деңгейінде ғана емес, қарапайым мағыналық компоненттер деңгейінде жүзеге асырылады. Түпнұсқа мәтіннің тілі мен аударма мәтінінің тілінде мұндай қарапайым мағыналардың сәйкестік дәрежесі қаншалықты жоғары болса, аударма соншалықты дұрыс болады [15, 31].

Сөйлемнің мәтіннің жеке бірлігі болуы міндетті шарт емес: ол тілдік сипаттамалары қандай да бір мөлшерде тұтас құрылымға тәуелді күрделірек фразалық бірліктердің қатарына енуі мүмкін және мұндай тәуелділік әртүрлі тілдерде әртүрлі тілдік шешімдердің болуын талап етеді [16, 172].

Аударма теориясы аудармашының тарапынан қарастырылуы тиіс ең маңызды пәндердің бірі саналады. Күнделікті жұмыста тиісті хабарламаны тиянақты жеткізу, оған стилистикалық өң беру, мәтіннің эмоциялық ерекшеліктерін айшықтау тәсілдерін таңдау мәселесі туындайды.

Заманауи тіл біліміндегі өзекті бағыттардың бірі – тіларалық коммуникацияның негізгі тетігі болып саналатын аударма үдерісінің лингвистикалық, когнитивтік және мәдени аспектілерін жан-жақты зерттеу. Қазіргі жаһандану жағдайында аударма тек бір тілдегі ақпаратты екінші тілге жеткізу құралы ғана емес, сонымен қатар мәдениеттер арасындағы диалогты қамтамасыз ететін маңызды әлеуметтік-

мәдени феномен ретінде қарастырылады. Осыған байланысты аударматану ғылымы тілдік жүйелердің өзара әрекеттесуін, ұлттық дүниетанымның берілу ерекшеліктерін және коммуникациялық ықпал ету механизмдерін зерттейтін кешенді ғылыми салаға айналды.

Тарихи тұрғыдан алғанда, аударма адамзат өркениетінің дамуына елеулі ықпал еткен әлеуметтік институттардың бірі болды. Аударма қызметі халықтар арасындағы ғылыми, әдеби және мәдени байланыстарды нығайтып, өркениеттік құндылықтардың таралуына мүмкіндік жасады. Әсіресе жазбаша аудармалардың кең таралуы әртүрлі халықтардың рухани мұрасын игеруге, әлем әдебиетінің үздік үлгілерін өзге тілдік ортаға жеткізуге және мәдениеттердің өзара ықпалдасуына негіз болды. Нәтижесінде аударма мәдениетаралық коммуникацияның маңызды құралы ретінде қоғамдық дамудың ажырамас бөлігіне айналды.

Шет тілдерін меңгеру түпнұсқа мәтінді тікелей қабылдауға мүмкіндік бергенімен, әлемдегі барлық тілдерді игеру мүмкін емес. Сондықтан аударма әртүрлі тілдік қауымдастықтар арасындағы ақпарат алмасудың әмбебап механизмі қызметін атқарады. Бұл аударманың тек практикалық емес, сонымен қатар теориялық тұрғыдан да маңыздылығын арттырады. Осы себепті аударматану ғылымында баламалылық, адекваттылық, аударма бірлігі, трансформация және прагматикалық сәйкестік мәселелері кеңінен зерттелуде.

Аударма теориясының алғашқы негізін тәжірибелі аудармашылардың өздері қалыптастырғаны белгілі. Олар аударма үдерісінде жинақталған тәжірибелеріне сүйене отырып, түпнұсқа мәтінді жеткізудің тиімді жолдарын сипаттауға тырысты. Алайда алғашқы теориялық пайымдаулар көбіне субъективті сипатта болып, ғылыми жүйелілік пен дәлелдемелік базаның жеткіліксіздігімен ерекшеленді. Соған қарамастан, бұл еңбектер аударма теориясының қалыптасуына негіз болып, кейінгі ғылыми зерттеулердің дамуына ықпал етті. Кейбір аудармашылардың аударманың табиғаты, мәтін мағынасының берілуі және авторлық стильді сақтау туралы пікірлері қазіргі аударматану ғылымында да өзектілігін жоғалтқан жоқ.

Аударматанудағы маңызды теориялық мәселелердің бірі – аударма мәтінінің түпнұсқаға жақындық дәрежесін анықтау мәселесі. Бұл тұрғыда ғылыми ортада сөзбе-сөз аударма мен еркін аударма арасындағы арақатынас туралы пікірталастар кең өріс алды. Бірқатар зерттеушілер аудармашының негізгі міндеті түпнұсқадағы тілдік бірліктерді дәл жеткізу деп есептесе, енді біреулері мәтіннің формасынан гөрі оның мағыналық-мазмұндық және эмоционалдық әсерін сақтау маңызды деген көзқарасты ұстанды. Осылайша аударма теориясында формалды сәйкестік пен динамикалық баламалылық мәселелері негізгі ғылыми категориялардың біріне айналды.

Қазіргі аударматану ғылымы аталған мәселелерді тек лингвистикалық деңгейде ғана емес, когнитивтік, прагматикалық және мәдениетаралық коммуникация тұрғысынан да қарастырады. Бұл аударманы күрделі көпдеңгейлі семиотикалық үдеріс ретінде тануға мүмкіндік береді. Сондықтан аударма теориясын зерттеу тілдік құрылымдардың өзара сәйкестігін анықтаумен қатар, ұлттық мәдениет пен дүниетанымның берілу ерекшеліктерін де терең түсінуге жол ашады.

Өз уақытында кеңестің көрнекті тіл маманы А.А. Реформатский аударма туралы ғылымның қалыптасу мүмкіндігі жөніндегі сұраққа кері жауап қайтарып, мұны «аударма практикасы тіл туралы ғылымның әртүрлі салаларының деректерін пайдаланатындықтан, оның жеке теориясы бола алмайды» деп негіздейді. Дегенмен, сол сәттен бері аударма теориясы ғылыми пән ретінде мықтап бекіді. Бұған қоғамның аударма қызметінің ғылыми тұрғыдан нақтылануын қажетсінуі, тіл білімінің дамуы, аударманы зерттеуге арналған ғылыми базаны қамтамасыз еткен коммуникация теориясы мен өзге де ғылымдардың жеке теорияларының ықпалы, ең бастысы, аударма саласындағы іргелі зерттеулердің пайда болуы әсер етті. Аударма саласындағы мұндай іргелі зерттеулер тіларалық және мәдениетаралық коммуникация процесі ретіндегі аударманың мәнін анықтауға бағытталған ғылыми бағдарды қалыптастырудың мүмкін екендігін және оның келешегінің даңғыл екендігін айқын дәлелдеді.

Түрік ғалымы Исмаил Ишжен «Çevrim Kuramı» атты еңбегінде аударматанудың пайда болуы туралы былай дейді: «Уақыт өте келе аударматану жеке өзалдына дербес пәнге айналды. Дегенмен, бастапқыда оның жалпылай қабылданған ғылыми-теориялық діңі берік, зерттеу объектісі нақтыланған, тұжырымдамалық бағдары қалыптастырылған, әдістемесі орныққан, ғылыми-тәжірибелік қатынасы реттелген бір салаға айнала қойған жоқ» [17, 21].

Ал Айше Нихал Акбулут аударматанудың жеке ғылым тармағы екендігін алға тартып, «Çeviribilim yeni bir bilim dalıdır. Çeviribilim özerk bir bilim dalı olduğundan kendi alanını betimlemekte, bu alana özgü kuramı ve yöntem bilgisini geliştirmektedir (Аударматану жаңа ғылым саласы. Ол жеке ғылым саласы болғандықтан, оның ғылыми негізі қалыптасады, жеке теориясы мен әдістемесі одан әрі жетіле түседі)», – дейді [18, 116].

Аударматану ғылымы үздіксіз дамып келеді, мұны аударма деген сұраныстың күн сайын артып келе жатқандығымен, аударманың зерттелмеген тұстарының әлі де көптігімен түсіндіруге болады. Аударма теориясы да біртіндеп бір арнаға түсіп келеді. Жас ғылым десек те, аударма саласында жазылған еңбектер аз деуге келмейді. Отандық аударматану да заман ағымынан қалыс қалар емес, кеңестік кезеңнен бастау алатын ғылыми еңбектер жазу қызметін бүгінгі буын ғалымдары одан әрі жалғастыруда. Аударма теориясының отандық аударматану ғылымындағы жай-күйін кезінде біртуар жазушы-ғалым М. Әуезов «Көркем аударманың кейбір теориялық мәселелері» атты зерттеуінде: «Аударма мәселесінің теориялық ой-пікір қадамының әжептәуір ілгері басқандығын,

оның жылдан жылға мәнді-мағыналы жаңалықтармен өрістеп келе жатқандығын айта отырып, алайда аударма теориясы ғылымның бір саласы болып әлі жетілмегендігін, әлі төл күйінде, әрі кеткенде қалыптасып есею күйінде ғана екендігін біліскеніміз мақұл. Солай болғандықтан да аударма теориясы өзі қамтырлық ауқымы мол мәселелерге қарыштай алмай келеді. Оның үстіне, бұл жүйедегі теория өзінің кейбір шешуші, анықтаушы негіздері тарапында жемісті түрде өрістеу жолына әлі де түсе алған жоқ», – деп сипаттайды [19, 19].

Осы еңбегінде ол еліміздегі аударма теориясына қатысты тұжырымдардың әлі де бір жүйеге келтірілмегендігін тілге тиек етеді: «Аударма теориясы еліміздегі сан алуан тілдерден орыс тіліне және орыс тілінен көптеген өзге тілдерге аударылудағы ерекше ұзақ үлгілерді, таңдаулы аудармаларды жобалы, жүйелі түрде зерттеп, шарықтап отыру жолына да түсе қойған жоқ. Бұл айтылған күрделі шешуші және түрлі пікірлерге өзек болар-лық жәйттер аударма жайындағы ғылымның түбегейлі негізі болмақ» [19, 20].

Осы орайда жазушы аударма теориясының зерттелуіне қатысты келесідей үш кемшілікті атап өтеді:

«Аударма теориясының басты кемшіліктерінің бірі, жоғарыда айтылғандай, жақсы үлгілі аударма тәжірибелерін жеткіліксіз, үстірт зер салу, шетендеп қана зерттеу болып отыр. Ал, асылында, ондай аудармаларды бүкіл егжей-тегжейіне жете, жан-жақты талдау аса мәнді шарт, талдағанда шығарманың идеялық-көркемдік қасиеттерін аударманың бойына қалай сіңіргендігін, образдылығын, түпнұсқаның ырғақтық, үндестік, шумақтық, ұқсастық, нәзік ұғымды тетіктерін, авторларының сөз өнеріндегі өзіне тән ерекшелігін, тарихи нышандарын беруде аударма өнерінің бұрынғы-соңғы аударма істерінен мүлде басқаша екендігін дәлелдеу әбден керекті міндет.

Аудармалар жөніндегі сын-пікірлердің екінші бір ақауы – тәуір аудармалардың, тіпті жалпы аударманың тек бірбеткей көлеңке жақтарын, сұрқай пішіндерін ғана байқастырудан туады. Аудармалардың жетістік жайларын көрмеу, немесе оны бағаламау бүкіл аударма теориясының игі және нәтижелі қасиеттеріне нұқсан келтіреді. Қилы-қилы кескіндерін қарастыра қою да керекті, алайда бұл әңгіменің ұшы-қиырсыз болуы ықтималдығын да ескергеніміз жөн. Өйткені әрбір осал аудармалар өзіне тән осал белгілерімен өзінше осал келеді. Ал ылғи тек кемістіктер мен кінәларды теріп айтылған пікірдің өркендеген әдебиет қозғалысына пайдалы әсері кем болмақ.

Аударма теориясындағы тағы бір ірі ақау – аударманың ұлттық түрлері жайындағы мәселелерден байқалады. Әдетте бұл тақырыпқа арналып теориялық мақалалар жазылып, пікірлер айтылмады демейміз, қайта проза аудармасына байланысты бұл мәселені айрықша көтеру талаптары бар. Алайда әзірге бұл байқаулар, бұл жайындағы кейбір сындар, соны пікірлер сол зор мәселенің тек шет пұшпағын ғана қамтыған сияқты. Ал, астында, бірыңғай совет шындықтарының мол көріністері, бай деректеріне сүйене, бұл мәселедегі теориялық тапқырлықтың баршаға пайдалы түйіндерінің құлашын кең сермеуге әбден мүмкін еді. Бұл үшін ұлттық форманы, аударма жайындағы қазіргі зерттеулердегідей, тұйық, санама күйде қарастырмай, оны өрістеп, қалыптасып отыратын тарихи категория яки құбылмалы категория деп ұғыну керек» [19, 25].

А.Д. Швейцер «Аударманың мақсатқа бағытталған, белгілі бір талаптар мен нормаларға жауап беретін, белгілі бір нәтижеге жетуге бағдарланған қызмет екендігін ұмытпаған жөн. Бұл нормалар аударма шының тұтас бағдарын айқындайды, оларды есепке алмастан аударма ға қатысты шешімдердің логикасын түсіндіру қиынға соғады», – дейді [9, 96].

Аударма үдерісін ғылыми тұрғыдан жан-жақты талдау оның процессуалдық сипаты мен нәтижелік қырын өзара бірлікте қарастыруды талап етеді. Осыған байланысты аударматану ғылымында динамикалық және статикалық әдістерді кешенді түрде қолдану маңызды ғылыми ұстанымдардың бірі ретінде танылады. Динамикалық аспект аударма жасау барысындағы когнитивтік, психолингвистикалық және коммуникативтік әрекеттерді сипаттаса, статикалық аспект түпнұсқа мәтін мен аударма мәтінінің құрылымдық-мағыналық арақатынасын зерттеуге бағытталады. Сондықтан бастапқы мәтін мен аударылған мәтінді салыстыруға негізделген дәстүрлі талдау әдісі аударма сапасын, эквиваленттілік деңгейін және аудармашының трансформациялық тәсілдерді қолдану ерекшеліктерін анықтауда ғылыми тұрғыдан тиімді әдіс болып саналады.

Қазіргі аударматану теориясында аударма тілдік коммуникацияның ерекше әрі күрделі түрі ретінде қарастырылады. Осы себепті аударма теориясы тек тілдік бірліктердің сәйкестігін немесе грамматикалық құрылымдардың трансформациясын зерттеумен шектелмейді. Аударма үдерісі әртүрлі мәдениеттердің, дүниетанымдық модельдердің және ұлттық-танымдық ерекшеліктердің өзара ықпалдасуымен тығыз байланысты. Демек, аударма – тек тіларалық емес, сонымен қатар мәдениетаралық коммуникацияның да маңызды механизмі. Бұл ретте түпнұсқадағы ұлттық-мәдени кодтар, прагматикалық мағына және авторлық интенция аударма мәтінінде барынша сақталуы тиіс.

Сонымен қатар аударма үдерісінің антропоөзектік сипатын ескермеу оның табиғатын толық түсіндіруге мүмкіндік бермейді. Аударма нақты техникалық аппарат арқылы емес, белгілі бір тілдік құзыретке, когнитивтік тәжірибеге, психологиялық қабылдау ерекшеліктеріне және мәдени аялық білімге ие аудармашы тұлғасы арқылы жүзеге асады. Сондықтан аудармашының дүниетанымы, тілдік интуициясы, коммуникативтік мақсаты мен кәсіби даярлығы аударма нәтижесіне тікелей ықпал етеді. Осы тұрғыдан алғанда, аударма үдерісі тек тілдік кодтарды алмастыру емес, мағынаны интерпретациялау, мәдени мазмұнды бейімдеу және коммуникативтік әсерді қайта құруға негізделген күрделі когнитивтік әрекет ретінде бағаланады.

В.Н. Комиссаровтың пікірінше, бүгінгі таңда аударма теориясының үш моделі бар: денотативті, трансформациялық және семантикалық модельдер [20, 83]. Осы модельдердің әрқайсысын жеке-жеке қарастырайық.

Аударматану ғылымындағы негізгі теориялық бағыттардың бірі – аударманың денотативті, трансформациялық және семантикалық теориялары. Бұл теориялар аударма үдерісінің табиғатын, түпнұсқа мен аударма мәтіні арасындағы мағыналық сәйкестікті және тілдік бірліктердің өзара қатынасын түсіндіруге бағытталған. Қазіргі лингвистикалық парадигмада аударма тек тілдік кодтарды алмастыру құбылысы ретінде емес, когнитивтік, семиотикалық және мәдени-коммуникативтік сипаттағы күрделі процесс ретінде қарастырылады. Осы тұрғыдан алғанда, аталған теориялар аударманың мазмұндық, құрылымдық және функционалдық қырларын ғылыми тұрғыдан сипаттауға мүмкіндік береді.

Аударманың денотативті немесе жағдаяттық теориясы аударма үдерісін шынайы болмыспен байланыстыра қарастыратын кең таралған модельдердің бірі болып табылады. Бұл теорияның негізінде тілдік таңбалардың объективті шындықтағы заттар мен құбылыстарды, әрекеттер мен қатынастарды білдіретіндігі туралы қағида жатыр. Лингвистикада мұндай тілдік таңбалармен белгіленетін нысандар мен құбылыстар денотаттар деп аталады. Осыған сәйкес, кез келген мәтін белгілі бір жағдаят туралы ақпаратты қамтитын таңбалар жүйесі ретінде танылады.

Денотативті теория бойынша аударма – түпнұсқа мәтінде сипатталған денотаттарды аударма тілінің құралдары арқылы қайта бейнелеу процесі. Аудармашы алдымен түпнұсқадағы тілдік бірліктерді қабылдап, олардың артында тұрған нақты жағдаятты немесе болмыстық құбылысты таниды, содан кейін осы жағдаятты аударма тілінде қайта сипаттайды. Мұнда аударманың басты мақсаты – тілдік форманы емес, сол форма арқылы берілген объективті мазмұнды жеткізу. Кей жағдайларда аудармашы бастапқы тіл мен аударма тіліндегі бірліктердің денотативтік сәйкестігін алдын ала білуінің арқасында тікелей алмастыру тәсілін қолдана алады. Бұл екі тіл арасындағы жағдаяттық ұқсастықтың аударма жасаудың негізгі шарттарының бірі екендігін көрсетеді [21].

Сонымен қатар денотативті теория аударма үдерісінің барлық қырларын толық қамти алмайды. Аталған теорияда түпнұсқадан аударма мәтініне өтудің ішкі механизмі нақты сипатталмайды. Нақты бір жағдаятты әртүрлі тілдік тәсілдер арқылы беруге болатындықтан, тек денотатқа сүйену аударма нұсқасын таңдауға әрдайым жеткілікті негіз бола алмайды. Әсіресе көпмағыналы немесе экспрессивті мәтіндерді аудару барысында бірнеше баламалы нұсқалардың туындауы денотативті теорияның шектеулі тұстарын айқындайды. Бұл теория аудармашының белгілі бір нұсқаны таңдау себептерін, мәтіннің стильдік және прагматикалық ерекшеліктерін жеткілікті деңгейде түсіндіре алмайды.

Денотативті теорияның тағы бір әлсіз тұсы – түпнұсқа мен аударма мәтіндерінің жүйелік және құрылымдық байланысын ескермеуі. Теория негізінен «не айтылды?» деген сұраққа жауап бергенімен, «қалай айтылды?» мәселесін екінші қатарға ысырады. Соның салдарынан мәтіннің стилистикалық реңкі, эмоциялық-экспрессивтік сипаты және авторлық қолтаңбасы толыққанды талданбайды. Демек, денотативтік сәйкестік әрқашан аударма эквиваленттілігінің толық қамтамасыз етілуіне кепіл бола алмайды.

Аударманың трансформациялық теориясы аударма үдерісін тілдік құрылымдардың түрленуі ретінде қарастырады. Бұл теорияның қалыптасуы XX ғасырдағы трансформациялық грамматиканың дамуымен тікелей байланысты. Трансформациялық грамматикада әртүрлі синтаксистік құрылымдардың ортақ терең құрылымдар негізінде жасалатыны және олардың арнайы трансформациялық ережелер арқылы бір-біріне ауыса алатыны дәлелденді. Осы идеялар кейіннен аударматану ғылымында кеңінен қолданылып, аударманы бастапқы тіл құрылымдарын аударма тілінің құрылымдарына трансформациялау процесі ретінде сипаттауға мүмкіндік берді.

Трансформациялық теорияға сәйкес, аудармашы түпнұсқа мәтінге әртүрлі операциялар жүргізу арқылы аударма мәтінін жасайды. Бұл операциялар орын ауыстыру, алмастыру, қосу, түсіру, грамматикалық қайта құру сияқты трансформациялық тәсілдер арқылы жүзеге асады. Мұнда аударма үдерісі механикалық алмастыру емес, күрделі құрылымдық өзгерістер жүйесі ретінде қарастырылады. Мысалы, бастапқы тілдегі бір синтаксистік құрылым аударма тілінде басқа формада берілгенімен, олардың терең мағыналық құрылымы сақталады.

Трансформациялық теорияның маңызды ерекшелігі – ол түпнұсқа мен аударма мәтіндерінің формальді құрылымдарын салыстыру арқылы аударма эквиваленттілігінің деңгейін анықтауға мүмкіндік береді. Бұл тәсіл әртүрлі тілдер арасындағы құрылымдық сәйкестіктер мен айырмашылықтарды зерттеуге теориялық негіз қалыптастырады. Сонымен бірге аудармашының практикада қолданатын трансформациялық әдістерін жүйелеуге және сипаттауға мүмкіндік береді. Сондықтан трансформациялық модель қазіргі аударматану ғылымындағы ең тиімді аналитикалық әдістердің бірі ретінде бағаланады.

Аударманың семантикалық теориясы түпнұсқа мен аударма мәтіндерінің мағыналық құрылымдарын зерттеуге негізделеді. Бұл теория бойынша аударма эквиваленттілігі мәтіндердің мазмұндық элементтерінің өзара сәйкестігі арқылы анықталады. Семантикалық теория аударма үдерісінде ең алдымен мәтіннің мағыналық компоненттерін анықтауды, содан кейін оларды аударма тілінде барынша дәл жеткізуді мақсат етеді.

Семантикалық теорияда мәтін мазмұны қарапайым мағыналық бірліктерге – семаларға бөлініп қарастырылады. Аударма сапасы түпнұсқа мен аударма мәтіндеріндегі ортақ семалардың сақталу деңгейімен өлшенеді. Бұл ретте аудармашының

негізгі міндеті – түпнұсқадағы коммуникативтік тұрғыдан маңызды мағыналарды жоғалтпай жеткізу. Сонымен қатар семантикалық теория мәтіндегі экспрессивтік-стилистикалық элементтердің де маңызды екендігін көрсетеді. Өйткені мәтін мазмұны тек ақпараттық компоненттерден ғана емес, эмоциялық, бағалауыштық және стилистикалық реңктерден де құралады.

Қазіргі аударматану ғылымында семантикалық теория аударманың когнитивтік және прагматикалық аспектілерімен тығыз байланыста қарастырылады. Бұл аударма үдерісінің тек тілдік сәйкестік мәселесі емес, мағынаны интерпретациялау мен қайта құру әрекеті екендігін дәлелдейді. Сондықтан аударма – бір тілдегі бірліктерді екінші тілдегі баламалармен механикалық алмастыру емес, аудармашының кәсіби құзыреті мен когнитивтік тәжірибесіне негізделген күрделі интеллектуалдық процесс болып табылады.

Пайдаланылған әдебиеттер

1. Тарақов Ә. Аударма процесі жайында // Аударманың өзекті мәселелері. // Құраст: Құлманов С. – Алматы: «Palitra-Press», 2015, - 296 б.

2. Комиссаров В.Н. Современное переводоведение. – М.: ЭТС, 2001. - 424 с.

3. Алексеева И.С. Введение в переводоведение. – М.: Академия, 2004. - 352 с.

4. Бархударов Л.С. Язык и перевод (Вопросы общей и частной теории перевода). – М.: Международные отношения, 1975. - 240 с.

5. Тарақов Ә. Ауызша аударма үдерісі. ҚазҰУ хабаршысы. Филология сериясы №6(130). 2010. - 235-238 б.б.

6. Комиссаров В.Н., Теория перевода (лингвистические аспекты). // Учеб.для ин-тов и фак. иностр. яз. – М.: Высш. шк., 1990. - 253 с.

7. Миньяр-Белоручев Р.К. Теория и методы перевода. – М.: Московский лицей, 1996. - 201 с.

8. Рецкер Я.И. Теория перевода и переводческая практика. – М.: Международные отношения, 1974. - 216 с.

9. Швейцер А.Д. Теория перевода: Статус, проблемы, аспекты. – М.: Наука. 1988. - 215 с.

10. Гак В.Г. Типология контекстуальных языковых преобразований при переводе // Текст и перевод. – М.: Наука, 1988. - 241 с.

11. Миньяр-Белоручев Р.К. Общая теория перевода и устный перевод. – М.: Воениздат, 1980. - 238 с.

12. Комиссаров В.Н. Лингвистика перевода. – М.: Междунар. отношения, 1980. - 168 с.

13. Цвиллинг М.Я. Эвристический аспект перевода и развитие переводческих навыков // Чтение, перевод, устная речь. – Л.: Наука, 1977.

14. Белякова Е.И. Translating from English: Переводим с английского/Материалы для семинарских и практических занятий по теории и практике перевода (с английского на русский). – СПб.: КАРО, 2003. - 160 с.

15. Виноградов В.С. Введение в переводоведение (общие и лексические вопросы). – М.: Издательство института общего среднего образования РАО, 2001. - 224 с.

16. Казакова Т.А. Практические основы перевода. English=Russian. – СПб.: «Издательство Союз», 2001. - 320 с.

17. İsmail İşcen, Çevrim Kuramı. Seçkin, Ankara, 2002.

18. Akbulut, Nihal Ayşe, Söylenceden Gerçekliğe-Çeviri Eğitimine İlişkin Düşünce, Gözlem ve Uygulamalar. Multilingual, İstanbul 2004.

19. Әуезов М. Көркем аударманың кейбір теориялық мәселелері. // Көркем аударманың мәселелері. Мақалалар жинағы. – Алматы: Қазақ көркем әдебиет баспасы, 1957.

20. Комиссаров В.Н. Слово о переводе. – М.: Международные отношения, 1973. - 215 с.

21. Талжанов С. Аударма және қазақ әдебиетінің мәселелері. – Алматы, 1975.

PHYSICS AND MATHEMATICS

SCATTERING OF VORTEX DIPOLES IN AN IDEAL FLUID: DEPENDENCE OF THE OUTCOME ON THE IMPACT PARAMETER

Milyute E.,
Department of Mathematical Computer Science,
Vilnius University and IRG "LITAVEM-3"
Milyus A.
IRG "LITAVEM-3"
Vilnius, Lithuania
DOI: 10.5281/zenodo.20457801

Abstract

The interaction of two vortex dipoles of different sizes in an ideal incompressible two-dimensional fluid is investigated numerically. The smaller dipole ($a_1 = 0.35$) moves faster than the larger one ($a_2 = 0.75$) and eventually overtakes it. The impact parameter Δy, defined as the vertical offset between the dipole axes, was varied from 0 to 1.2. Four qualitatively different scattering regimes were identified: (i) collinear forward scattering with moderate size exchange ($\Delta y = 0$); (ii) backward scattering of the small dipole through 172^0 accompanied by strong compression ($\Delta y = 0.3$); (iii) a critical regime in which both dipoles are deflected by approximately 106^0 due to a singularity of the scattering function ($\Delta y = 0.7$); and (iv) quasi-elaistic passage with an almost complete exchange of dipole sizes ($\Delta y = 1.2$). It is shown that the nonmonotonic behavior of the scattering function $\theta(\Delta y)$ is caused by the competition between direct and exchange interaction mechanisms, while the critical regime is analogous to the rainbow angle in elastic scattering theory. Conservation of angular momentum and linear impulse of the system is confirmed numerically.

Keywords: point vortices, vortex dipole, dipole scattering, impact parameter, Kirchhoff equations, integrals of motion, rainbow angle.

1. Introduction. Vortex dipoles — pairs of point vortices with opposite circulations — are among the fundamental objects of two-dimensional hydrodynamics. Unlike a single vortex, a dipole possesses nonzero linear momentum and propagates translationally, which makes it the closest hydrodynamic analogue of a particle. The self-induced velocity of an isolated dipole is inversely proportional to the distance between its constituent vortices:

$$V = \Gamma/(2\pi a)\,, \qquad (1)$$

therefore, a more compact dipole moves faster. This property leads to rich interaction dynamics: a fast dipole inevitably overtakes a slower one, and the outcome of their collision strongly depends on the geometry of the encounter.

The interaction of point vortices has been studied since the classical works of Helmholtz [1] and Kirchhoff [2]. The problem of collision between two dipoles is a particular case of the four-vortex problem, which is generally non-integrable but admits integrable subclasses in the presence of additional symmetry. Collinear collisions (zero impact parameter) are known as a special integrable case: vortices rearrange into new pairs, and in the limit of a large velocity ratio the process becomes equivalent to transparent passage with exchange of identities [6, 7]. Noncentral scattering has been studied much less extensively, although it is precisely this regime that occurs in most physical situations, ranging from geophysical vortices in the atmosphere and oceans [3, 10] to quantum vortices in Bose–Einstein condensates [9].

The connection of the present results with the existing literature is fairly direct. The works of Newton [4] and Aref [5] are devoted to point-vortex dynamics and scattering in systems with a small number of degrees of freedom, where nonlinear effects and sensitivity to initial conditions already appear. The monographs by Saffman [3] and Batchelor [10] treat vortex structures as fundamental objects of hydrodynamics and discuss their role in atmospheric, oceanic, and turbulent flows. Finally, Pismen [9] demonstrates that similar interaction mechanisms also arise in quantum fluids, where vortices exhibit quasiparticle-like properties. In this sense, the problem of vortex-dipole scattering occupies an intermediate position between classical hydrodynamics, nonlinear dynamics, and the physics of quantum vortices, combining methods and interpretations from all these fields.

The analogy between vortex-dipole scattering and the scattering of quantum particles has long attracted the attention of researchers. Vortex dipoles possess quasiparticle-like properties: conserved momentum, an effective "mass" (proportional to Γ/V), and an internal degree of freedom represented by the dipole size. During interaction, this internal degree of freedom can be redistributed between the dipoles. Such behavior has no direct analogue in the mechanics of point particles, but resembles the scattering of composite objects such as hadrons or molecules.

In the present work, the dependence of the collision outcome on the impact parameter Δy is investigated systematically for a fixed dipole size ratio $a_1/a_2 = 0.47$. Numerical integration of the Kirchhoff equations using the fourth-order Runge–Kutta method makes it possible to follow the system evolution with high accuracy. It is shown that the scattering function $\theta(\Delta y)$ is nonmonotonic and exhibits a singularity near

$\Delta y \approx 0.7$, resembling the rainbow angle in elastic scattering theory. Four qualitatively different scattering regimes are identified and characterized: collinear scattering, backward scattering, a critical regime, and quasi-isotropic passage accompanied by size exchange. For each regime, quantitative data are presented for the variation of dipole sizes, velocities, and scattering angles, and their relation to the integrals of motion of the system is discussed.

The paper is organized as follows. Section 1 formulates the problem and presents the equations of motion. Section 3 is devoted to the integrals of motion and their role in constraining the possible final states of the system. Section 4 describes the four scattering regimes and provides a quantitative analysis of each case. Section 6 discusses the physical interpretation of the results and their connection with known phenomena in mechanics and scattering optics.

2. Problem formulation. We consider a system of four point vortices in an ideal incompressible two-dimensional fluid. Two dipoles are formed by pairs of vortices with circulations $+\Gamma$ and $-\Gamma$. The small dipole has a half-size $a_1 = 0.35$, while the large dipole has $a_2 0.75$ (in units where $\Gamma = 1$).

The motion of each vortex is governed by the Kirchhoff equations:

$$dx_i/dt = -(1/2\pi)\sum_{j\neq i}\Gamma_j(y_i - y_j)/r_{ij}^2 \quad (2a)$$

$$dy_i/dt = (1/2\pi)\sum_{j\neq i}\Gamma_j(x_i - x_j)/r_{ij}^2 \quad (2b)$$

where

$$r_{ij}^2 = (x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2.$$

Numerical integration was performed using the fourth-order Runge–Kutta method with a time step $dt = 0.02$. An isolated dipole with half-size a propagates translationally with velocity given by Eq. (1). Therefore, $V_1 = 0.455$ and $V_2 = 0.212$. The small dipole is approximately 2.14 times faster than the large one and, starting behind it, eventually overtakes it. The impact parameter Δy is defined as the vertical displacement of the center of the small dipole relative to the symmetry axis of the large dipole. Four values were investigated: $\Delta y = 0, 0.3, 0.7$ and 1.2.

3. Integrals of Motion. System (2) possesses three conserved quantities. The linear impulse is given by

$$P_x = \sum_i \Gamma_i x_i = const, P_y = \sum_i \Gamma_i y_i = const, \quad (3)$$

The angular impulse (angular momentum of vorticity) is

$$L = (1/2)\sum_i \Gamma_i(x_i^2 + y_i^2) = const. \quad (4)$$

The Hamiltonian (interaction energy) has the form

$$H = -(1/4\pi)\sum_{i<j}\Gamma_i\Gamma_j \ln r_{ij} = const. \quad (5)$$

For a symmetric configuration (both dipoles having the same orientation and their centers lying on the same horizontal line), the angular momentum satisfies $L = 0$, and remains zero throughout the evolution. The existence of three integrals of motion for a system with four degrees of freedom makes the dynamics nearly integrable in the vicinity of regular trajectories, while still allowing chaotic behavior in resonant regions.

4. Results: Four Scattering Regimes.

4.1. $\Delta y = 0$: Collinear Scattering

For zero impact parameter, the dipole axes coincide. The small dipole overtakes the large one at approximately $t \approx 10.8$; after which the dipole centers approach each other and an elastic forward scattering event occurs. From the conservation of momentum (3) and Hamiltonian (5), it follows that in the limit $a_1/a_2 \to 0$ the collision becomes equivalent to transparent passage with exchange of identities. In the numerical simulation, the dipole half-sizes changed only moderately:

$$a_1: 0.350 \to 0.404\ (+15.4\%), a_2: 0.750 \to \to\ 0.696\ (-7.2\%) \quad (6)$$

The velocity of the small dipole after scattering decreased from 0.455 to 0.394, in agreement with Eq. (1), while the velocity of the large dipole increased slightly from 0.212 to 0.229. The scattering angle of both dipoles was 0^0.

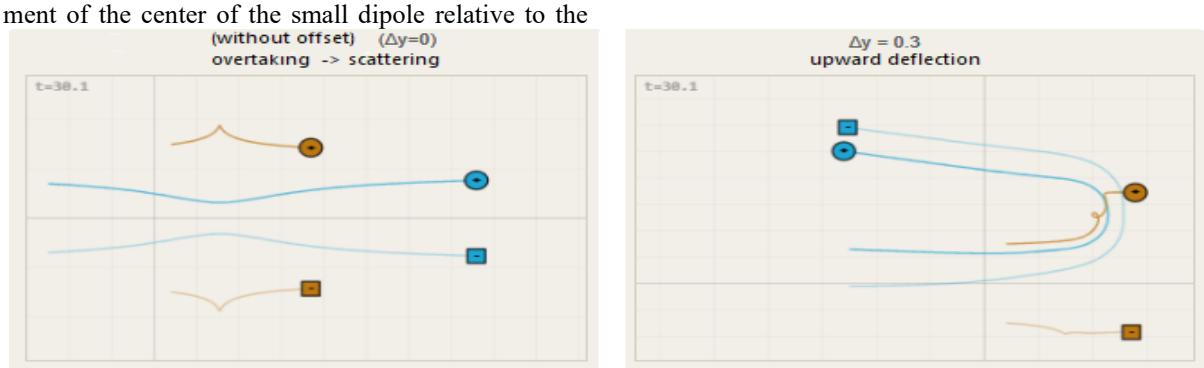


Fig. 1. Trajectories of vortex dipoles for small values of the impact parameter Δy. Blue and orange curves correspond to the trajectories of vortices belonging to the two dipoles, while circles and squares denote vortices with opposite circulations. Left: the case $\Delta y = 0$, corresponding to a collinear collision without transverse displacement. The small dipole overtakes the large one, after which symmetric scattering occurs along the original direction of motion. The trajectories remain nearly straight, and the interaction leads only to moderate deformation of the dipole structure. Right: the case $\Delta y = 0.3$. A small transverse offset leads to a strong noncentral interaction: the trajectories become sharply curved, and the small dipole is deflected upward relative to its initial direction of motion. A pronounced rearrangement of the vortex pairs and a significant exchange of momentum between the dipoles are observed.

4.2. $\Delta y = 0.3$: Backward Scattering of the Small Dipole.

For $\Delta y = 0.3$, the minimum distance between the dipole centers was 0.503 at $t = 12.0$. The small dipole was scattered almost backward, with a scattering angle of approximately 172^0 relative to its initial direction of motion. The exchange of dipole sizes was dramatic:

$$a_1: 0.350 \to 0.225\ (-35.7\%), a_2: 0.750 \to \to\ 1.323\ (+76.4\%) \quad (7)$$

The velocity of the small dipole after scattering became

$$V_1' = \Gamma/(2\pi \cdot 0.225) \approx 0.709\ ,$$

which means that the dipole became even more compact and faster. The large dipole almost preserved its original direction of motion (-1.2^0), but slowed down substantially:

$$V_2' = \Gamma/(2\pi \cdot 1.323) \approx 0.120.$$

4.3. $\Delta y = 0.7$: Critical Regime and Nearly Perpendicular Scattering.

The most nontrivial result was obtained for $\Delta y = 0.7$. The minimum distance between the dipole centers was 1.180 at $t = 18.5$. Both dipoles were deflected by approximately $\sim 106^0$ from their initial direction of motion, corresponding to nearly perpendicular scattering. The dipole half-sizes increased abruptly:

$$a_1: 0.350 \to 5.020\ , a_2: 0.750 \to 4.019 \quad (8)$$

Such a dramatic increase in a indicates a profound restructuring of the dipole configuration: the vortices temporarily approached "foreign" partners and later separated into a state with a much larger internal spacing. This value of Δy corresponds to a singularity of the differential scattering cross section — an analogue of the rainbow angle in geometrical optics, where the scattering function possesses an extremum:

$$d\theta/d(\Delta y) \to 0 \quad \text{at} \quad \Delta y \approx 0.7 \quad (9)$$

Near this point, a small variation of the impact parameter produces a large change in the scattering angle, corresponding to an enhanced differential cross section.

4.4. $\Delta y = 1.2$: Quasi-Elastic Passage with Size Exchange.

For $\Delta y = 1.2$ the dipoles passed each other at a minimum distance of 1.902. The interaction became moderate; however, an almost complete exchange of dipole sizes occurred:

$$a_1: 0.350 \to 0.793\ , a_2: 0.750 \to 0.365 \quad (10)$$

Thus, the initially slow large dipole became small and fast ($V_2' \approx 0.436$), whereas the initially fast small dipole became large and slow ($V_1' \approx 0.201$). The corresponding scattering angles were $+9^0$ and -30^0 respectively.

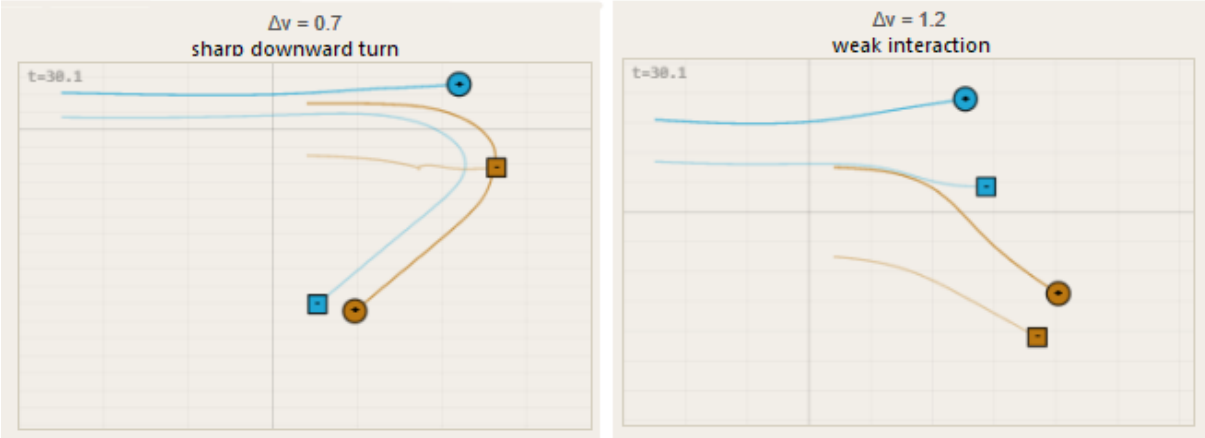


Fig. 2. Trajectories of vortex dipoles after interaction for different values of the impact parameter Δy. Blue and orange curves represent the trajectories of vortices belonging to the two dipoles, while circles and squares denote vortices with opposite circulations. Left: the case $\Delta y = 0.7$, corresponding to the critical scattering regime. After approaching each other, the dipoles experience strong mutual interaction and are deflected downward relative to their initial direction of motion. The trajectories become strongly curved, indicating an intense rearrangement of vortex pairs and a substantial exchange of momentum. Right: the case $\Delta y = 1.2$, corresponding to the weak-interaction regime. The dipoles pass by each other with moderate deflection, largely preserving their original structure and direction of motion. The curvature of the trajectories is significantly smaller than in the critical regime.

5. Mathematical Model Describing the Controllability of Vortex-Dipole Scattering by the Impact Parameter. We consider a system of four point vortices in an ideal incompressible two-dimensional fluid: a small dipole with half-size a_1 and a large dipole with half-size $a_2 > a_1$. The impact parameter $b = \Delta y$ is defined as the vertical displacement of the axis of the small dipole relative to the axis of the large dipole as $t \to -\infty$. It is necessary to show that varying b controls the outcome of the collision; that is, the scattering function $\theta(b)$ is nontrivial, and the final states of the system form a manifold of positive dimension.

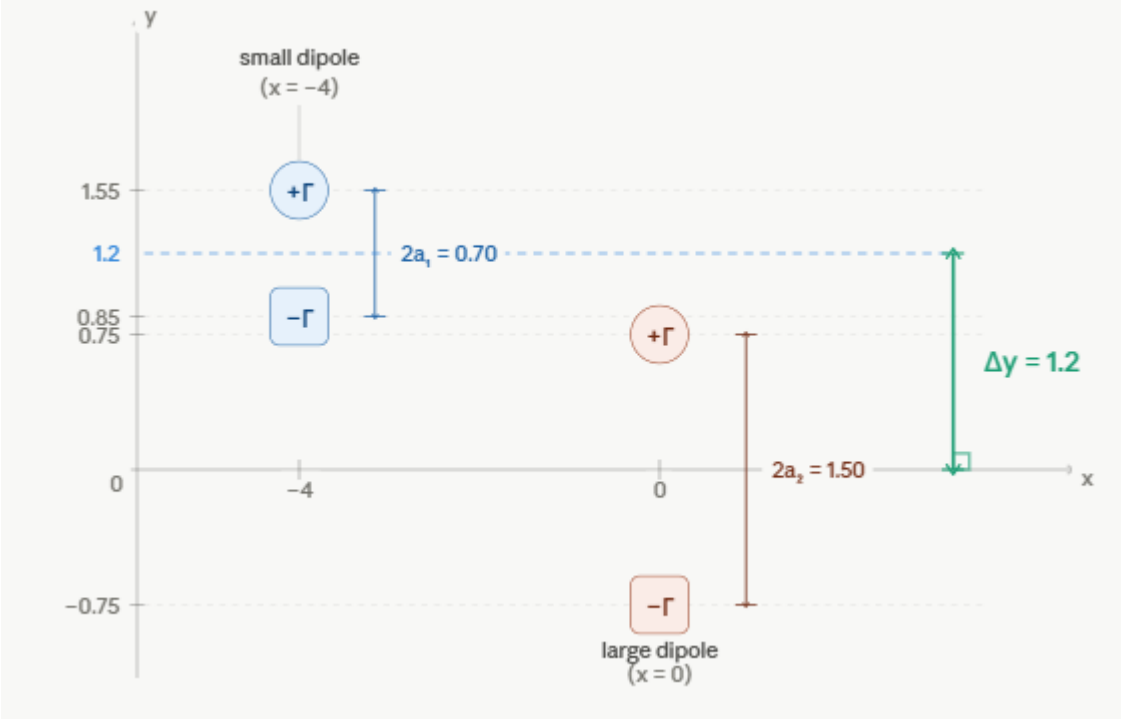


Fig. 3. Geometry of the initial configuration and definition of the impact parameter Δy. The large dipole is always symmetric with respect to the line $y = 0$. The small dipole is shifted upward by Δy; its center is therefore located at $y = 1.2$, rather than on the symmetry axis. The distance between the axes of the two dipoles is precisely the impact parameter Δy. Physically, this quantity is analogous to the impact parameter in atomic and particle scattering theory: for $\Delta y = 0$ the collision is head-on, whereas for large Δy the dipoles largely pass by one another with weaker interaction. By varying Δy from 0 to 1.2, four qualitatively different scattering regimes were investigated.

5.1. Integrals of Motion and Constraints on the Final State. The Kirchhoff equations possess three integrals of motion that are conserved exactly for any value of the impact parameter b: the linear impulse P_x (3), the angular momentum L (4), and the Hamiltonian H (5). A numerical verification for $b = 1.2$ over 10^4 integration steps gives

$$\Delta H < 6 \cdot 10^{-15}, \Delta P_x < 8 \cdot 10^{-15},$$
$$\Delta L < 6 \cdot 10^{-14}, \quad (11)$$

which demonstrates conservation at the level of machine precision. As $t \to -\infty$ the two dipoles are far apart. Since each dipole has zero net circulation, the leading multipole term in the inter-group contribution to the Hamiltonian vanishes identically, and the next-order term decays as

$$H_{inter} \sim (\Gamma^2/2\pi)(a_1 a_2/R^2), \quad R \to \infty, \quad (12)$$

while their contribution to the forces decays as $1/R^3$. Hence, in this limit:

$$H = (\Gamma^2/4\pi)[\ln(4a_1^2) + \ln(4a_2^2)] + \mathcal{O}(1/R^2), \quad (13)$$

so the Hamiltonian is determined only by the internal sizes of the dipoles a_1 and a_2. Using conservation of, we evaluate its initial value. The contribution of the large dipole, symmetric with respect to the axis $y = 0$, vanishes. The contribution of the small dipole, whose center is located at (x_0, b) in the limit $x_0 \to \infty$ is

$$L(t \to -\infty) = (\Gamma/2)[(x_0^2 + (b + a_1)^2) - (x_0^2 + (b - a_1)^2)] = 2\Gamma b a_1. \quad (14)$$

Thus, the angular momentum of the system is completely determined by the impact parameter:

$$L = 2\Gamma b a_1. \quad (15)$$

This is a linear and therefore injective function of b. Since L is conserved, each value of b corresponds to a uniquely determined value of L throughout the entire evolution and in the final state.

This fact already proves controllability in the weak sense: different values of b lead to systems with different integrals of motion and therefore to different final states.

Numerically: $L(b = 0) = 0, L(b = 0.3) = 0.2100, L(b = 0.7) = 0.4900, L(b = 1.2) = 0.8400,$ demonstrating a monotonic dependence on the impact parameter.

5.2. Asymptotic Behavior as $t \to +\infty$ and Its Relation to Controllability.

As $t \to +\infty$ the two dipoles separate again, and

$$H_{inter} \to 0.$$

If the final dipole half-sizes are denoted by a_1' and a_2', then conservation of the Hamiltonian gives

$$(\Gamma^2/4\pi)[\ln(4a_1'^2) + \ln(4a_2'^2)] = (\Gamma^2/4\pi)[\ln(4a_1^2) + \ln(4a_2^2)]. \quad (16)$$

Hence

$$\ln(a_1' a_2') = \ln(a_1 a_2),$$

That is, $a_1' a_2' = a_1 a_2 = const.$ (17)

If the initial values are $a_1 = 0.35, a_2 = 0.75$, then

$$a_1 a_2 = 0.2625.$$

This exact relation follows solely from conservation of the Hamiltonian: the product of the final dipole half-sizes is invariant with respect to the impact parameter b.

And whereas after the collision at $b = 1.2$:

$$a_1' a_2' = 0.783 \cdot 0.352 = 0.2756,$$

The difference is about 5%, which is due to the finite distance between the dipoles at $t = 400$ and the residual interaction energy $H_{inter} = 1.5 \cdot 10^{-5}$. From conservation of P_x, L, and the asymptotic form of the Hamiltonian, it follows that as $t \to +\infty$, each dipole moves rectilinearly with velocity

$$V = \Gamma/(2\pi a') \quad (18)$$

at an angle θ to the x-axis. Its contribution to the angular momentum is:

$$L_i(t) = \Gamma\left(y_i V_{x_i} - x_i V_{y_i}\right)t + const. \quad (19)$$

For the total angular momentum L to remain finite as $t \to \infty$, the conservation of P_y requires

$$V_1 \sin\theta_1 + V_2 \sin\theta_2 = 0. \quad (20)$$

Together with the conservation of P_x,

$$V_1 \cos\theta_1 + V_2 \cos\theta_2 = P_x/\Gamma, \quad (21)$$

this gives a system of two equations for the two unknowns θ_1, θ_2 for given velocities

$$V_1 = \Gamma/2\pi a_1', \; V_2 = \Gamma/2\pi a_2'. \quad (22)$$

Since $a_1 a_2 = const$, the velocities V_1 and V_2 are related by

$$V_1 V_2 = \Gamma^2/4\pi^2 a_1' a_2' = \Gamma^2/4\pi^2 a_1 a_2 = const. \quad (23)$$

Thus, the conservation equations contain exactly one remaining degree of freedom, for example a_1'. By varying b, we vary L, which determines a_1' through the equations of motion and therefore fixes the entire final scattering regime.

5.3. Nonmonotonicity of $\theta(b)$ and the Existence of a Rainbow Angle.

Direct numerical scanning of the function $\theta_1(b)$ for $b \in [0, 2]$ revealed sign changes of the derivative $d\theta_1/db$ near $b \approx 0.22, 0.58, 0.70 - 0.78$. In the vicinity of each of these points, the scattering function $\theta(b)$ possesses a local extremum, corresponding to the condition for rainbow scattering:

$$d\theta/db = 0.$$

At the rainbow-angle point b^* the differential scattering cross section

$$\sigma(\theta) = b/\sin\theta \, |d\theta/db| \quad (24)$$

develops a singularity and therefore diverges in the classical theory. The existence of at least one such value b^* follows from the intermediate value theorem. Since $\theta_1(0) = 0^0$, $\theta_1(0.3) \approx 41^0$ and $\theta_1(0.7) \approx 13^0$ (after a large negative excursion), the function $\theta_1(b)$ cannot be monotonic. By Rolle's theorem, between two points having the same value of θ, there exists a point at which the derivative vanishes.

5.4. Controllability in the Strict Sense.

Let us define the reachable set as:

$$M = \{(\theta_1, \theta_2, a_1', a_2'): b \in [0, +\infty)\}. \quad (25)$$

Numerical scanning shows that this set contains: $\theta_1 \in [-97^0, 75^0], \theta_2 \in [-97^0, 41^0]$ for $b \in [0,0.7]$, which already forms an open interval of positive measure.

Therefore, M has positive measure in the space of final states. This is precisely the meaning of controllability: a one-parameter family of initial conditions generated by variation of b induces a manifold of final states with positive dimension. Moreover, since

$$L = 2\Gamma b a_1 \quad (26)$$

is strictly monotonic and is itself an integral of motion, the mapping

$$b \mapsto \text{(final state)}$$

is injective on every connected component where $\theta(b)$ remains monotonic.

Over the entire range $b > 0$ the image of this mapping covers a continuum of final states. This proves that the impact parameter b acts as a genuine control parameter: by varying $b \in (0, +\infty)$, one continuously controls the scattering regime, and each value of b corresponds to its own distinct final state of the system.

6. Discussion.

The obtained results demonstrate that the scattering function $\theta(\Delta y)$ is nonmonotonic. The dependence of the scattering angle of the small dipole on the impact parameter has the form:

$$\theta(\Delta y): 0^0 \to 172^0 \to -106^0 \to 9^0 \quad (27)$$

for $\Delta y = 0, 0.3, 0.7, 1.2$ This nonmonotonic behavior is caused by the competition between two interaction mechanisms: for small Δy, attraction associated with vortex-pair rearrangement dominates (upward forward scattering), whereas for large Δy, long-range dipole interaction produces only weak deflection. Between these regimes there exists a critical value, $\Delta y \approx 0.7$, at which the combined field of the two dipoles redirects both objects nearly perpendicular to their initial direction of motion.

Conservation of angular momentum (4) and linear impulse (3) constrains the admissible final states. In particular, for $L = 0$ and $P_y = 0$ (symmetric configuration), the perpendicular ejection of both dipoles in the same direction (regime 3.3) is allowed: their total $y-$ momentum remains zero, while conservation of L is maintained through the simultaneous increase of the dipole half-sizes, compensating for the change in positional contributions. The observed scattering regimes have direct analogies in mechanics. The collinear case corresponds to a central collision, backward scattering resembles Rutherford scattering at small impact parameters, and the critical regime with an extremum of the scattering function is analogous to the rainbow angle in elastic scattering theory.

7. Conclusion. In this work, the interaction of two vortex dipoles of different sizes in an ideal incompressible two-dimensional fluid has been investigated. Numerical integration of the Kirchhoff equations has shown that the collision outcome strongly depends on the impact parameter Δy, which acts as a control parameter of the system.

Several qualitatively different scattering regimes were identified: collinear passage, backward scattering of the small dipole, a critical regime with nearly perpendicular deflection, and quasi-elastic passage accompanied by size exchange. It was demonstrated that the scattering function $\theta(\Delta y)$ is nonmonotonic and possesses an extremum corresponding to an analogue of the rainbow angle in elastic scattering theory. Near this value, a small variation of the impact parameter produces a drastic change in the scattering angles, indicating a high sensitivity of the dynamics to the initial conditions.

It was established that the impact parameter determines the angular momentum of the system:

$$L = 2\Gamma a_1 \Delta y, \quad (28)$$

thereby uniquely specifying the admissible class of final states. Consequently, variation of Δy provides

continuous control over the scattering regime. The set of reachable final states has positive dimension, which allows the problem to be interpreted as an example of a controllable nonlinear Hamiltonian system.

It was also shown that conservation of the Hamiltonian leads to the asymptotic invariant

$$a_1' a_2' = const\ ,$$

which relates the internal structure of the dipoles before and after interaction. Thus, the collision is accompanied not only by changes in trajectories, but also by a redistribution of the internal "binding energy" between the dipoles.

The most remarkable feature is that the dipoles interact through the velocity field generated by each vortex and induced on all the others. This follows directly from the Kirchhoff equations (2): the velocity of the i-th vortex is the sum of the contributions produced by all remaining vortices:

$$dx_i/dt = -(1/2\pi)\sum_{j\neq i}\Gamma_j\left(y_i - y_j\right)/r_{ij}^2\ .$$

In particular, the interaction between the two dipoles involves four intergroup vortex pairs:

(0,2), (0,3), (1,2), (1,3).

Each pair contributes to the induced velocity field.

The key property is that a single vortex generates a velocity field decaying as $1/r$. However, for a dipole the total circulation vanishes, $(+\Gamma - \Gamma = 0)$, so the leading term cancels, and the **dipole field decays faster** - namely as $1/r^2$. This is precisely the reason why $H_{inter} \sim a_1 a_2/R^2$, rather than behaving logarithmically as $\ln R$.

Physically, this means the following. While the dipoles are far apart, the interaction is weak and both dipoles move almost rectilinearly. As they approach one another, the field of one dipole acts differently on the two vortices of the other dipole: the nearer vortex experiences a stronger attraction or repulsion than the farther one. As a result, **a differential force** appears,

$$\Delta \boldsymbol{V} = \boldsymbol{V}(0, +a_2) - \boldsymbol{V}(0, -a_2) \sim$$
$$\sim\left(\Gamma a_1/\pi R^2\right)\cdot(a_2/R) = \Gamma a_1 a_2/\pi R^3, \quad (29)$$

which simultaneously changes both the direction of motion of the dipole and the distance between its vortices, i.e. its size a.

It is precisely this redistribution of dipole sizes that constitutes the main distinction between the present problem and the scattering of point particles: a dipole possesses **an internal degree of freedom,** namely its size a, which can be exchanged between dipoles during interaction. At the same time, the invariant relation $a_1' a_2' = a_1 a_2 = const$ remains satisfied as a consequence of Hamiltonian conservation.

The obtained results demonstrate a deep analogy between vortex-dipole scattering and problems of classical and quantum mechanics: analogues of central collisions, Rutherford scattering, and rainbow scattering are observed. At the same time, the presence of an internal degree of freedom — the dipole size — makes the dynamics substantially richer than the scattering of point particles.

A promising direction for future research is the transition to models of finite-thickness vortex rings, investigation of chaotic regimes in systems of three or more interacting dipoles, and the search for analogous effects in quantum vortices of Bose–Einstein condensates and geophysical vortex structures.

References

1. Helmholtz H. Über Integrale der hydrodynamischen Gleichungen, welche den Wirbelbewegungen entsprechen // *Journal für die reine und angewandte Mathematik*. 1858. Vol. 55. P. 25–55.

2. Kirchhoff G. Vorlesungen über mathematische Physik: Mechanik. — Leipzig: Teubner, 1876.

3. Saffman P. G. Vortex Dynamics. — Cambridge: Cambridge University Press, 1992.

4. Newton P. K. The N-Vortex Problem: Analytical Techniques. — New York: Springer, 2001.

5. Aref H. Point vortex dynamics: a classical mathematics playground // *Journal of Mathematical Physics*. 2007. Vol. 48. 065401.

6. Borisov A. V., Kilin A. A., Mamaev I. S. Dynamics of vortex rings: leapfrogging, choreographies and stability problem // *Regular and Chaotic Dynamics*. 2012. Vol. 17, No. 2. P. 113–147.

7. Hicks W. M. On the mutual threading of vortex rings // Proceedings of the Royal Society of London. 1899. Vol. 65. P. 170–176.

8. Dyson F. J. The dynamics of vortex rings // *Philosophical Transactions of the Royal Society* A. 1893. Vol. 184. P. 43–95.

9. Pismen L. Vortices in Nonlinear Fields. — Oxford: Clarendon Press, 1999.

10. Batchelor G. K. An Introduction to Fluid Dynamics. — Cambridge: Cambridge University Press, 1967.

SOCIAL SCIENCES

PRODUCTION AND MANAGEMENT METHODS OF DOMESTIC WASTEWATER IN THE DEPARTMENT OF NIORO DU RIP

Ndaw M.Ch.I.
Department of Geography, Faculty of Arts and Humanities, UCAD, Dakar (Senegal)
Sane B.,
Diop F.
Department of Geography, Faculty of Sciences and Technologies, UASZ, Geomatics and Environment Laboratory, BP 523 Ziguinchor (Senegal)
DOI: 10.5281/zenodo.20457811

Abstract

Wastewater management and sanitation in general are essential drivers of economic development and the well-being of urban populations in Senegal. Despite considerable efforts in this sector, the coverage rate of essential wastewater collection and management services (sewer systems, modern latrines, soakaways, etc.) remains low in both urban and rural areas. This study contributes to the analysis of the domestic wastewater sanitation system in the Nioro department. To conduct this study, we used a mixed-methods data collection approach, combining quantitative and qualitative surveys with 664 residents of the Nioro department within the RIP (Regional Information Platform). Semi-structured interviews were conducted with the head of the Nioro hygiene brigade (1), the regional sanitation service (1), and the private contractors (5) responsible for wastewater collection and disposal. To assess the average volume of wastewater produced by households, the volume of containers in latrines was considered in this study. The results reveal autonomous or individual methods of managing domestic and rainwater wastewater in the Nioro department of the RIP. 82.8% dispose of domestic wastewater in the streets, 12.4% in uninhabited areas or abandoned houses, and 3.9% in septic tanks. Also, due to the lack of a collective wastewater treatment system, sewage disposal is ensured by vacuum trucks and…*Baye-Pèle*These different methods of wastewater management reveal unsustainable practices and environmental and health issues.

Keywords: Management, Domestic wastewater, Sanitation, Water production, Nioro du RIP.

Introduction:

Urban agglomerations in sub-Saharan Africa, and in the Sahel in particular, are grappling with stormwater management problems due to topographical limitations and the effects of rapid urbanization. In these cities, sustainable stormwater management remains a significant challenge for local elected officials responsible for urban planning and concerned with ensuring the safety and comfort of city residents (Ndongo, 2015). Pollution, climate change, conflicts, water-related disasters, and demographic shifts are creating unprecedented pressure on water resources in many regions of the world (Hounguè, 2020). Wastewater treatment is a current concern in developing countries. The impact of rainwater has increased with the emergence of peripheral neighborhoods (resulting from urban sprawl in sub-Saharan Africa) born from demographic pressure (Malouono and Berton, 2018). In subtropical Africa, the inability of public institutions to react quickly and effectively to unprecedented population growth and massive rural exodus has had adverse effects, including oversaturation of already inadequate sanitation infrastructure (Ngahane, 2015). The exorbitant costs of building public sanitation infrastructure mean that many African cities today lack modern sanitation systems and/or have latrines that do not meet WHO standards. Urban drainage is a common problem in Sahelian cities; the heavy investment required to address it leads to the development of poor practices whose impacts are often poorly understood (Ndongo *et al.,*2015). Remediation is the process of removing, reducing, or neutralizing contaminants from a site in order to prevent or minimize adverse effects on the current or future environment. It also encompasses all the techniques for collecting wastewater and treating it before discharge into the natural environment (Triplet, 2017). Wastewater in African cities poses a significant threat to the quality of surface and groundwater resources and to biodiversity, due to the limited availability of adequate treatment systems and low investment in this sector.Managing wastewater, by intensifying wastewater collection and treatment (on-site and off-site), can contribute to achieving the goals set by the 2030 Agenda for Sustainable Development (Hounguè, 2020). It is, in fact, the only water resource that will grow in the future. Its consideration is therefore essential, and its development must consequently be integrated into sustainable development goals, if it is treated (Leila, 2014).

Like other Senegalese cities, the challenges related to the collection, management, and disposal of domestic wastewater are also a concern in the Kaolack region, and particularly in the Nioro du Rip department. This department, like other Senegalese cities, lacks a collective wastewater treatment infrastructure. This study analyzes the methods of domestic wastewater production and management through an analytical approach based on household perception surveys in the Nioro du Rip department. This work is doubly relevant due to the limited coverage of sewage systems in two-thirds of Senegalese cities and the urgent need to achieve SDG 6.1 by 2030.

Study framework:

The Nioro department lacks centralized sewage systems and rainwater drainage networks in all its mu-

nicipalities. Consequently, households rely on individual wastewater management systems and septic tanks, depending on available resources, according to the household heads interviewed.

Like other departments, Nioro struggles to address sanitation issues, particularly wastewater management. The sanitation problem in Senegal is primarily technical and financial. Currently, local authorities lack sufficient financial and technical resources to construct public wastewater and solid waste collection points. Installing a collective sanitation system is expensive, as is maintaining the network. This is one of the reasons why the Nioro Department does not have a domestic and stormwater wastewater treatment system. While the construction of public wastewater treatment facilities is indeed the responsibility of the State, some local authorities could fully manage this if they had substantial financial resources.

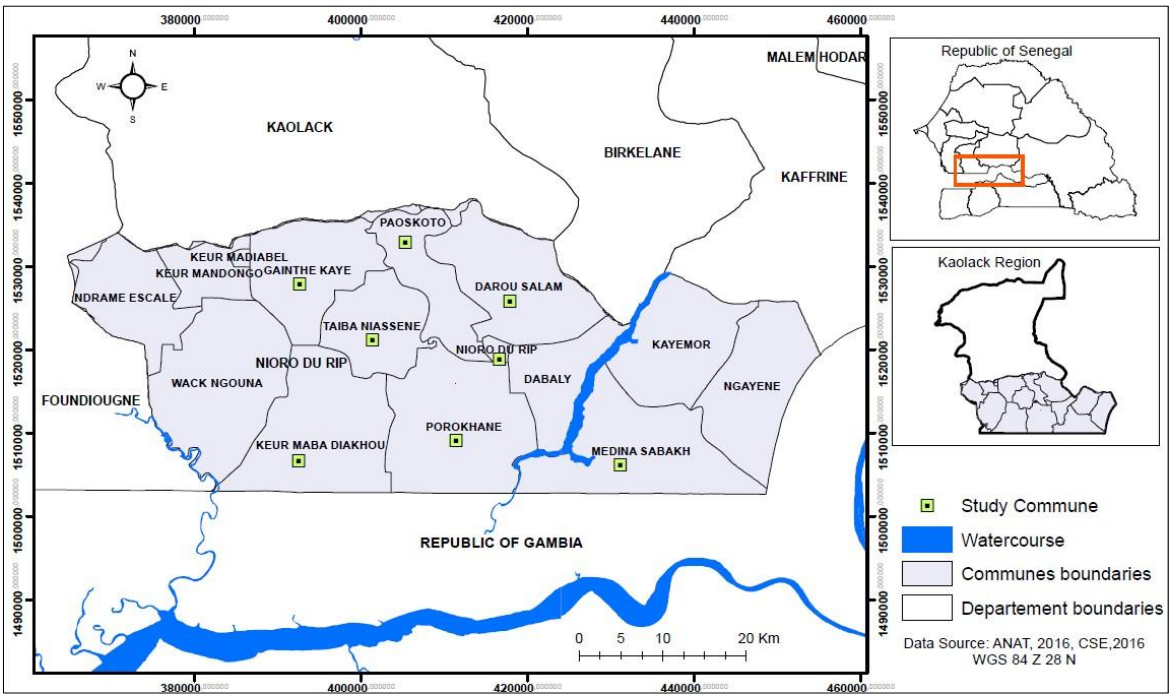


Figure 1: Location of the communes of the Nioro Department of the RIP.

I. Methodology

The methodological approach adopted is based on the collection of socioeconomic data (interviews and household surveys) and in situ analyses of the waters of the hydraulic infrastructures of the eight (8) municipalities of study.

1.1. Collection and processing of institutional data

Demographic data and data from water management structures were used in this study. This data was processed using Excel spreadsheets and ArcGIS software for cartographic representation.

Hydrological data These are the Directorate of Water Resources Management and Planning (DGPRE), the National Water Company of Senegal (SONES), the Senegalese Water Company (SDE) and the Rural Drilling Office(OFOR). Detailed hydrological maps were also consulted at the DGPRE.

Demographic data The data were collected at the National Agency for Statistics and Demography (ANSD). Most of it comes from studies and the fourth general census of population, housing, agriculture, and livestock (RGPHAE) in 2013. Other specific works by various authors also contributed to providing reliable statistical data. This data quantitatively represents the population trends in the Nioro department. It was supplemented by cartographic data obtained from the National Agency for Territorial Development (ANAT) and the Ecological Monitoring Center (CSE) in 2016.

1.2. Fieldwork and investigations

1.2.1. Exploratory or pre-investigation visits

Direct observations were carried out in the field to observe water supply infrastructure, to assess the difficulties of access to drinking water for households, the level of service in drinking water distribution networks in municipalities, the quality of water distributed by actors in the sector, the sanitation system and the living environment.

The preliminary investigation isThe field test phase involved eighty (80) questionnaires submitted to heads of households in the communes of Gainte Kaye, Nioro, Porokhane, Taïba Niasséne, Paoskoto, Keur Maba, Médina Sabakh, and Darou Salam. The aim was to verify the relevance of the proposed questions and to identify potential biases and inconsistencies.

1.2.2. Criteria for selecting survey sites, sampling techniques and the conduct of socio-economic surveys

Working at the departmental level led us to choose the purposive sampling technique. Thus, we selected 8 out of 15 municipalities based on a defined criterion in order to align with the established research hypotheses (Table 1).

The choice of the 8 municipalities is made according to three (3) criteria:

The presence of a water supply network: this criterion allows us to determine the number of localities with access to a water supply network (WSN) and the management problems they may face.

The absence of a water supply network: it allows us to identify the localities that have the most problems in terms of access to water, both in terms of quantity and quality.

Supply from a locality with a supply network: this allows us to understand the dependence of certain localities on their neighbors with a supply network. Based on these criteria, our study focuses on 8 municipalities (Table 1). These are listed in the following table:

Table 1

Municipalities of the Nioro department and their characteristics

Municipalities	**Populations**	**Number of households**
Nioro du Rip	20784	2363
Paoskoto	2658	238
Porokhane	5694	532
Dabaly	1228	154
Taïba Niasséne	7174	568
Keur Madiabel	10542	1050
Keur Maba	1126	93
Medina Sabakh	5381	613
Keur Mandongo	1303	98
Ndramé Stopover	2241	252
Wack Ngouna	3825	358
Gainte Kaye	1311	149
Darou Salam	1898	166
Ngayéne	180	2427
Kayemor	158	2259

1.2.3.Sampling techniques

Sampling is based on household size in eight (8) targeted communes in the Nioro du Rip department (4722 households).). To determine the sample size, Bernoulli's sampling formula was used, according to the following equation:

$$n = \frac{(Z)^2 \times N}{(Z)^2 + \alpha^2 \times (N-1)}$$

With n being the sample size; N being the size of the universe investigated (or parent population); α being the width of the range expressing the margin of error; Z being the standard value corresponding to the chosen confidence level.

$$n=\frac{2{,}576^2 \times 4722}{2{,}576^2+0{,}1^2 \times (4722-1)}$$

For this study, the parent population (N) is 4722 households for the 8 selected municipalities. The Z-value, corresponding to the chosen 90% confidence level, is 2.576, with α representing the width of the 5% margin of error range (0.05), which gives (2*5%) 10% (0.1). Therefore, the study is based on a sample of 664 households, representing 14% of the parent population, with a confidence or uncertainty interval of approximately 5%.

To distribute the 664 households to be interviewed (which constitute the sample size) according to the 8 selected villages, a quota sample was chosen and the number of households to be interviewed per village is calculated as follows:

$$\frac{\text{Nombre de ménages de la commune} \times 664}{\text{Nombre total de ménages des 8 communes}}$$

Table 1 below shows the distribution of the sample according to the four districts.

Table 2

Sampling distribution

Villages	**Number of Households**	**Uncertainty interval**	Sampling	Percentage
Darou Salam	166	5%	23	3.5
Nioro du Rip	2363	5%	332	50.0
Medina Sabakh	613	5%	86	13.0
Paoskoto	238	5%	33	5.0
Gainte Kaye	149	5%	21	3.2
Porokhane	532	5%	75	11.3
Taiba Niassene	568	5%	80	12.0
Keur Maba Diakhou	93	5%	13	2.0
Total	**4722**	**5%**	**664**	**100**

1.2.4.Interview Procedure

Interviews conducted with NGOs, municipalities, technical services (SDE, SONES), ASUFOR, ADC, ASC, and CDQ highlighted the diversity of actors involved in water management in Nioro. They also revealed the sources of supply, the condition of boreholes, governance structures, and socio-economic constraints that encourage the use of wells of dubious quality. Through this diverse range of actors, the interviews underscored the difficulties encountered in local management and the social tensions generated by the commercialization of drinking water, reflecting the technical, institutional, and social challenges related to equitable access to this resource.

2. Results and discussion

2.1. Typology and composition of domestic wastewater

Domestic wastewater results from daily water use within households. It is subdivided into greywater and blackwater, which generally carries organic pollution. Its composition varies according to household practices, the volume of water consumed, and the socioeconomic profile of the inhabitants. The daily pollutant load per individual, estimated based on consumption between 15 and 110 liters, illustrates the strong dependence of the quality and quantity of wastewater on the characteristics of the dwelling (Hamon, 1983).

Table 3

Average quantitative and qualitative characteristics of domestic wastewater according to (Hamon, 1983).

	Volume (l/inhabitant/day)	BOD5 mg/l/inhabitant/day	MY (mg/l/inhabitant/day)
Wastewater	15 to 25	15 to approximately 600	10 to approximately 400
Household wastewater	50 to 110	40 to approximately 500	30 to approximately 350

Suspended solids (SS) in domestic wastewater are generally expressed in milligrams per liter (mg/L). They consist of undissolved particles larger than 1 µm in diameter, comprising both mineral and organic elements. These particles have the characteristic of settling spontaneously through sedimentation. Household wastewater is characterized by a diversity of components, including dissolved solids, the majority of which are in diluted form.

2.1.1. Knowledge of the nature of household wastewater.

Greywater constitutes a specific category of domestic wastewater, produced by daily activities such as meal preparation, personal washing, and toilet use. Its composition is characterized by significant heterogeneity, incorporating organic matter (fats, proteins, food scraps), chemical substances from cleaning products and detergents, as well as suspended solids including mineral particles (soil, sand) and waste of animal or plant origin. Emulsified fats and dissolved compounds such as mineral salts and soluble organic matter are also present. The definition proposed by Vaillant (1973), adopted by Ndiaye (2013), highlights the diversity of pollutants present in greywater and underscores the environmental and health challenges associated with its management, particularly in terms of aquatic contamination, microbiological risks, and eutrophication.

2.1.2. Knowledge of the nature of wastewater

Wastewater refers to domestic effluents from toilets, containing feces and urine. It has a complex composition of biodegradable organic matter (cellulose, lipids, proteins, carbohydrates, fatty acids, uric acid, amino acids, alcohols) and minerals (Vaillant, 1973). It is characterized by a high microbiological load, including pathogenic intestinal flora, notably coliforms and fecal streptococci used as contamination indicators (SPGE, 2010). This wastewater poses a major health risk due to the presence of viruses (diarrhea, gastroenteritis), bacteria (cholera, dysentery, typhoid), and parasites (worm eggs), which explains why individual sanitation systems have long focused primarily on its treatment (Sall, 1998). Chemically, they are also heavily loaded with nitrogenous pollutants, particularly organic and ammoniacal nitrogen from urine, estimated at approximately 4 g per user per day (Hamon, 1983). Considered the most polluted and dangerous domestic wastewater, sewage requires rigorous management to limit health and environmental risks.

2.2. Production and volumes of water discharged

In analyzing water supply and consumption parameters, estimating the volume of wastewater discharged relies on identifying and quantifying household practices. Key factors include laundry frequency, the number of basins used for each load and for washing dishes, and the toilet flushing method. These parameters allow for a direct link between daily water use and the volume of wastewater produced, thus providing a methodological basis for assessing domestic discharges and planning sanitation systems.

2.2.1. Disposal of household wastewater

In the Nioro du Rip department, the lack of institutional systems for collecting and disposing of domestic wastewater leads households to adopt independent management practices. Household wastewater (from washing, bathing, dishwashing, and cooking) is predominantly discharged into the streets by 82.8% of households, creating health risks related to stagnation and the proliferation of waterborne diseases. A minority of households resort to other solutions: 12.4% discharge it into uninhabited areas, 3.9% into septic tanks, and only 0.9% into soakaways—marginal practices within the sample studied (Fig. 2). These results highlight the predominance of uncontrolled discharges and the inadequacy of sanitation infrastructure, exacerbating the challenges to public health and environmental sustainability.

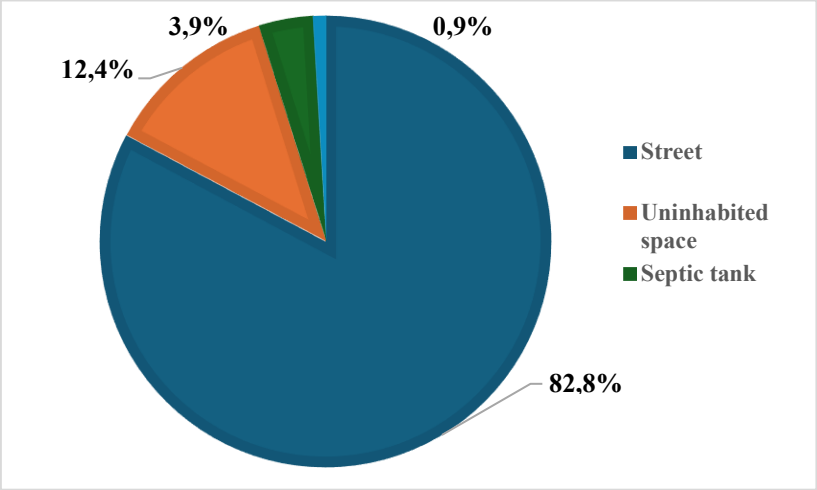


Figure 2: Methods of domestic wastewater disposal, author surveys, 2021.

2.2.2. Production of washing water

In the Nioro du Rip department, laundry is a particularly water-intensive domestic activity. The survey reveals that 44.4% (Fig. 3) of households report doing laundry more than three times a month, 37.4% three times a month, and 17.5% twice a month. Marginal practices involve 0.5% of households doing laundry once a month and 0.2% (Fig. 3) outsourcing this task to washerwomen. This high frequency reflects significant water consumption, which, once discharged, is mostly dumped into the streets, fields, or other undeveloped areas.

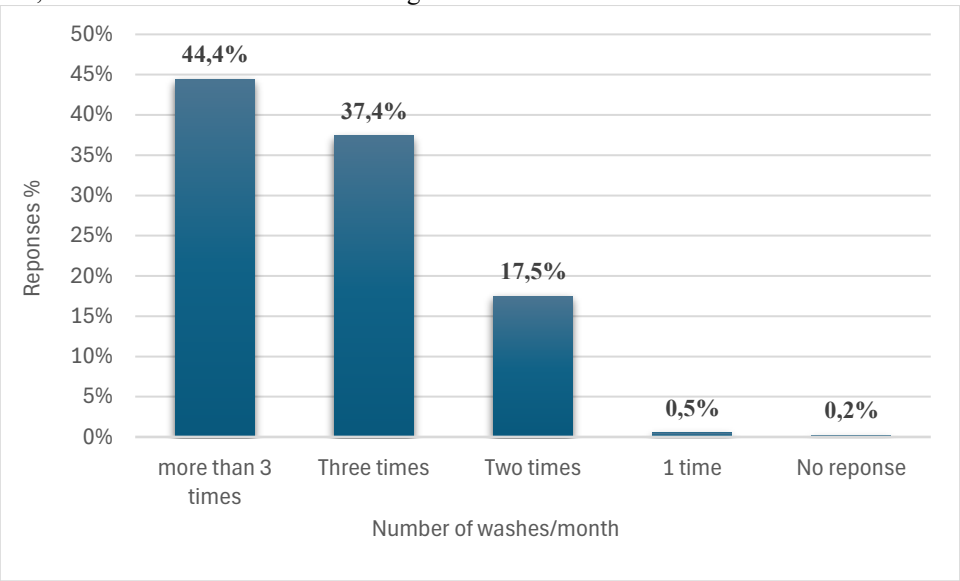


Figure 3: Number of washes per month, surveys authors, 2021.

2.2.3.Number of basins of water per load of laundry

Domestic water consumption related to laundry varies significantly between households, depending on the level of soiling of the clothes and the nature of the users' professional activities. Surveys conducted in the Nioro du Rip department reveal that 42.7% of households use an average of four basins of water per load, while a significant proportion use three basins, followed by those using two. Furthermore, 27.9% (Fig. 4) of households report using more than four basins, indicating particularly high consumption. Conversely, a small segment of the population (0.6%) outsources this task by hiring housekeepers to wash clothes. This distribution highlights the heterogeneity of water consumption practices, directly correlated with socio-professional conditions and household habits.

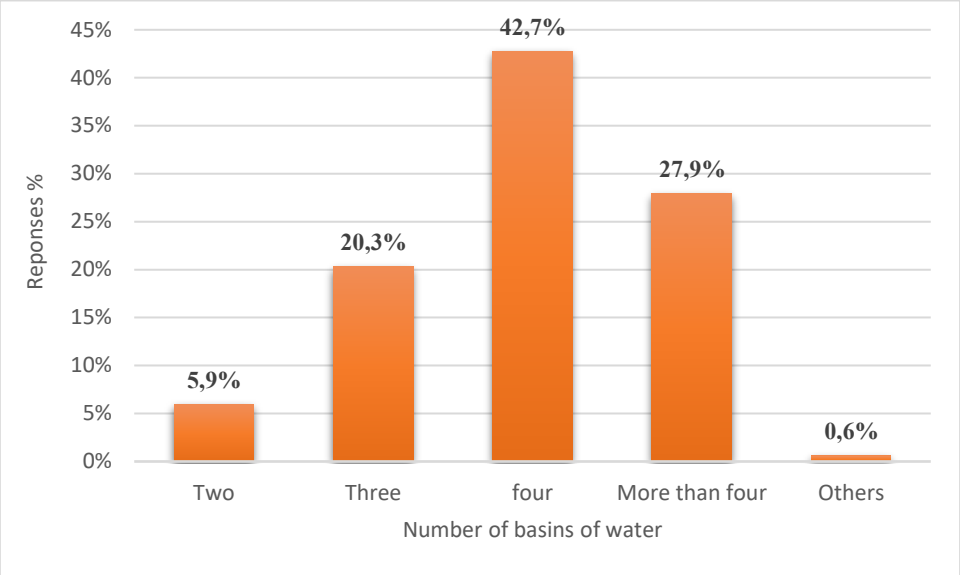


Figure 4: Number of basins of water per load of laundry, surveys authors, 2021.

The greater the number of basins used, the more significant its contribution to the wastewater treatment problem. In other words, the contribution of laundry water to the problem of domestic wastewater treatment depends on the number of washes done and the number of basins of water used. Consequently, this quantity of water, discharged haphazardly into the environment, poses real health and environmental risks in the department. Our survey results show that 57.5% of households dispose of their laundry wastewater in the street, 3.9% (Fig. 5) in their yards, and 37.4% in uninhabited or undeveloped areas. The "non-response" category includes households that do not do their own laundry and send their clothes to women who specifically take care of their laundry. This category represents 1.2% of the results obtained (Fig. 5).

Indeed, all these waste disposal methods adopted by households stem from the lack of collective sanitation infrastructure, namely a sewer system. The ONAS (National Sanitation Office) collective network has not yet reached most of the country's secondary cities. This slow pace of infrastructure development represents a loss in water resource management.

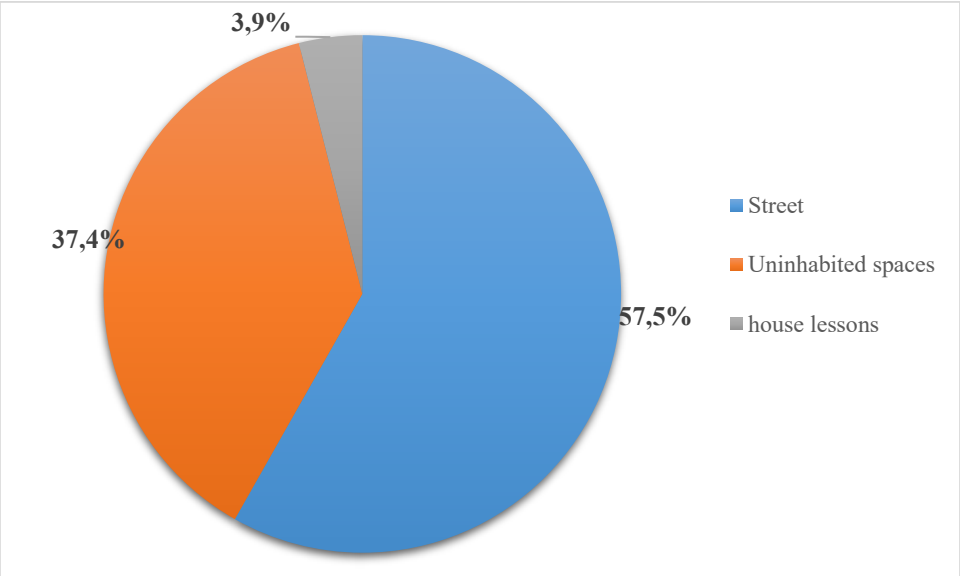


Figure 5: Laundry water disposal site, surveys authors, 2021.

Domestic wastewater from washing dishes or cooking is disposed of in similar ways, reflecting a largely informal and unregulated system. The survey reveals that 62.5% (Fig. 6) of households discharge this wastewater directly into the street, thus exposing public spaces to risks of stagnation and contamination. Furthermore, 34.5% (Fig. 6) of households dispose of it in uninhabited areas or vacant lots, contributing to diffuse soil pollution and environmental degradation. Less common practices include discharge into property courtyards (2.4%) and the use of soakaways (0.6%), solutions that remain insufficient for ensuring sustainable wastewater management.

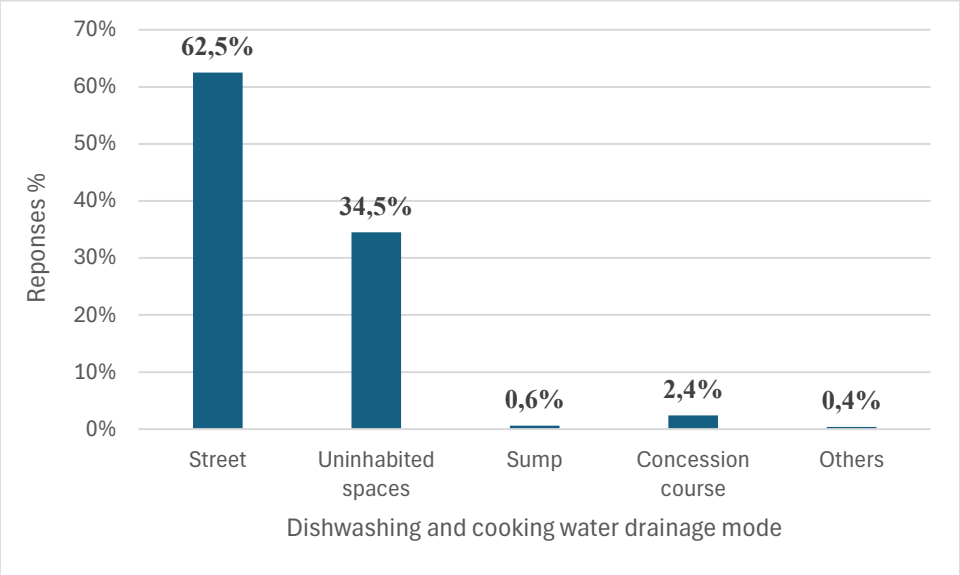


Figure 6: Dishwashing and cooking water drainage mode, surveys authors, 2021.

2.2.4. Method of managing pits

The method of supplying water to the toilet affects the process or the time it takes for the septic tank to fill. Indeed, the amount of water used after defecation by households provides additional water for the sanitation system. Analysis of Figure 7 shows that the majority of households surveyed bring water (such as a bucket) to the toilet because they are not equipped with a toilet. This group represents 52.1% of our sample. Next, toilets supplied with water from jerrycans and pots holding approximately 2 to 5 liters of water come in second, representing 37.6% (Fig. 7) of the households surveyed. Toilets with taps represent 2.9%. Those equipped with a flush system are less common, at 2.1%. Overall, these quantities of water can be considered relatively small in areas where a sewer system exists.

However, when analyzed within the context of our selected or targeted municipalities, characterized by the absence of sanitation and wastewater networks, this can become a real health problem. Therefore, the populations must implement a collective system for the collection, treatment, and disposal of all wastewater produced, which guarantees a healthy living environment and protects their health.

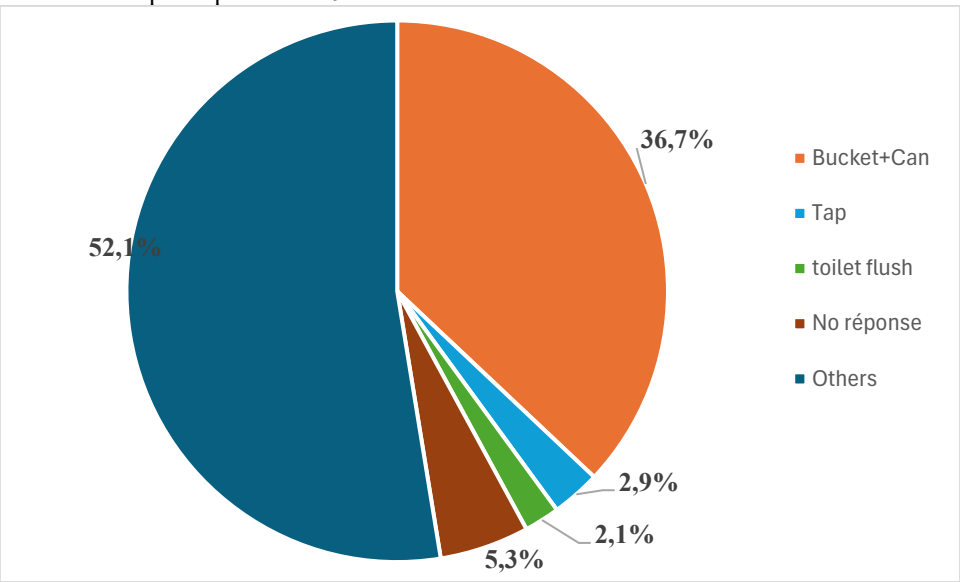


Figure 7: Toilet water supply method, surveys authors, 2021.

2.2.4.1. Nature and management of wastewater collection pits

In the Nioro department, various types of pits have been identified, reflecting a diversity of domestic sanitation practices. The majority of households use septic tanks (82.6%), generally constructed by masons or unskilled tradespeople, raising questions about the technical quality and durability of these structures. Alongside these systems, soakaways (9.5%) and latrines (7.9%) are also found, though these remain in the minority but demonstrate alternative solutions implemented by the population. However, the lack of fixed overflows and structured drainage systems poses a major environmental risk, promoting soil and groundwater contamination, as well as the proliferation of health hazards.

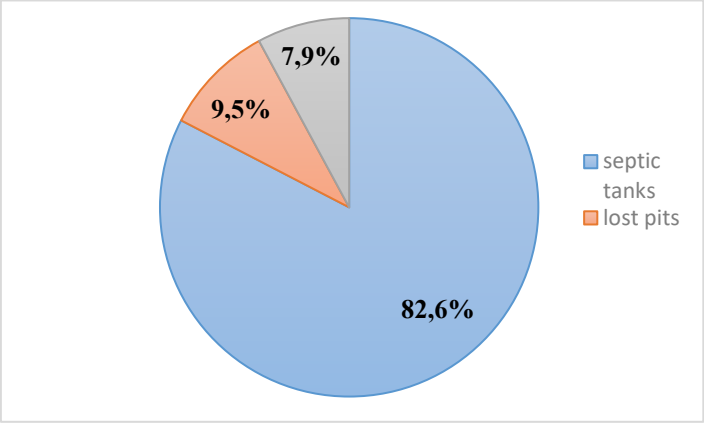


Figure 8: Category of wastewater collection pits, surveys authors, 2021.

The management of septic tanks constitutes a real sanitation problem in Nioro because the average time for filling septic tanks is not the same for different households.

Thus, after the filling of the septic tanks, emptying is done mainly by truck (76.3%), by manual system (19.4%), 4.3%) by motor pump and others (fig. 9).

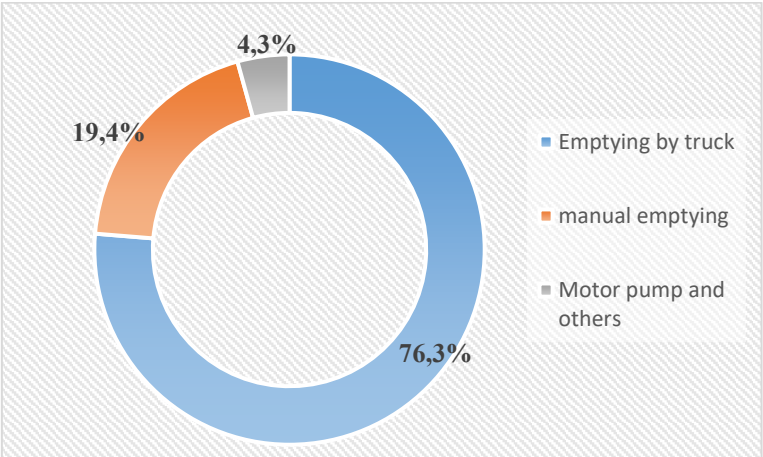


Figure 9: Types of septic tank emptying, surveys authors, 2021.

2.2.4.2. Emptying of septic tanks by truck

The emptying of domestic septic tanks is carried out using tanker trucks (76.3%) belonging to a private company based in Kaolack. Households pay between 25,000 and 30,000 CFA francs per emptying to obtain their services. However, 30.2% of households encounter difficulties in having their tanks emptied. These difficulties sometimes stem from the fact that this private company only comes after receiving a sufficient number of requests. This slowness on their part is a source of disease and air pollution from these tanks. In contrast, in the municipality of Nioro, the local government also helps households empty their tanks by providing a tanker truck for a fee of 10,000 CFA francs per emptying. However, this is not the case in other municipalities; their municipal authorities informed us that they do not have a sufficient budget to subsidize household septic tank emptying. Furthermore, it is important to note that after emptying, this wastewater is dumped haphazardly in fields on the outskirts of the towns. Similarly, some households, lacking the resources to hire a septic tank emptying truck, resort to other methods such as manual emptying (see Figure 9).

In the municipalities visited, manual emptying of septic tanks is carried out both by household members and by specialists, such as septic tank cleaners. These professionals are paid between 6,000 and 10,000 CFA francs. To perform this task correctly, it is essential to dig a hole inside or outside the house to collect the sludge from the tank. This practice is considered unacceptable as it fails to meet proper hygiene standards. However, it continues despite municipal bans, leaving the situation critical. To avoid municipal oversight, it is often done at night or discreetly. Similarly, emptying with a motorized pump is not widely used by households, representing only 4.3% of cases. They prefer truck-based emptying, despite the higher cost, and to preserve their living environment.

2.2.4.3. Management of cesspools and latrines

Lost pits represent only 9.5%, they do not have a significant impact in our chosen municipalities. These pits are used to receive wastewater from households and toilets, including fecal matter. They are not emptied; to be more precise, they are not drained, as their name suggests (cesspool). They are mainly located in the streets, sometimes even inside houses. Their proliferation will certainly contribute to groundwater pollution and the destruction of the living environment. Moreover, they are strictly prohibited by municipal authorities, and orders have been issued to their owners to remove them from the streets to protect public health, according to city officials we interviewed.

Latrines (7.9%) are found in all the municipalities in our sample. They are built by the poorest populations, who live in extremely precarious conditions. Furthermore, due to a lack of resources, they cannot afford toilets and cesspools. As a result, these communities are left with only latrines. They report having received no assistance from the municipalities to improve their situation.

2.2.4.4. Filling time of identified pits

In the commune of Nioro, septic tanks do not fill up too quickly. Generally, 79.5% of households have tanks that fill up once a year. 13.4% (Fig. 10) of households have their tanks filled every six (6) months. Only 7.1% of households have their tanks filled every three (3) months. Finally, the "other" category concerns households whose tanks fill up everyone (1) or two (2) months. Indeed, this slow filling of the tanks considerably reduces the frequency of emptying them. This situation may be linked to the soil structure, which prevents the water table from rising and thus avoids refilling (Fig. 10).

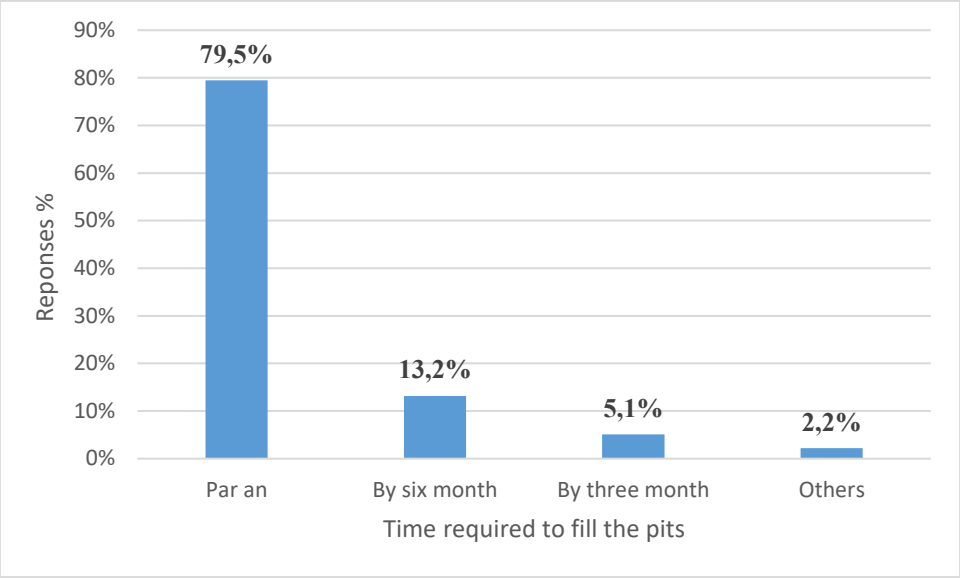


Figure 10: Pit filling time, surveys authors, 2021.

2.2.5.Stormwater wastewater management

One of the key issues for which governments should find a sustainable solution is stormwater management in urban areas (Sané et al., 2019). Indeed, almost all cities in Senegal suffer from problems related to the efficient drainage of rainwater. Linked to climate variability, stormwater management is a challenge for city managers and residents alike. The Nioro du Rip Department is also affected by sanitation problems, including the poor management of stormwater runoff. This runoff creates significant sanitation problems and alters the morphology of natural channels through gully erosion in some municipalities. As a result, most of the municipalities in the department are disfigured by these gullies caused by poor wastewater and stormwater management and by problems with natural drainage systems. Consequently, homes and infrastructure located near these gullies are subsiding or collapsing.

Photo 1: (A) Undeveloped ravine, exit from the commune of Nioro; (B) Ravine crossing the commune of Nioro already built, authors, August 2021.

2.2.6.Resilience techniques in case of excess rainwater.

Households use traditional methods for rainwater drainage. Survey results indicate that 11.2% of households affected by excess water collect it using buckets or basins. Next, 5.6% of households backfill when there is excess water in their homes. Thus, their techniques- These methods consist of building embankments to prevent flooding into their properties. Finally, the use of sandbags accounts for 2.6% (Fig. 11), which is the last method used by households in our sample. In short,

the evacuation techniques employed by households affected by the flooding are temporary. Consequently, these methods are considered unconventional and do not completely resolve the flooding problems. They only provide temporary relief to the population.

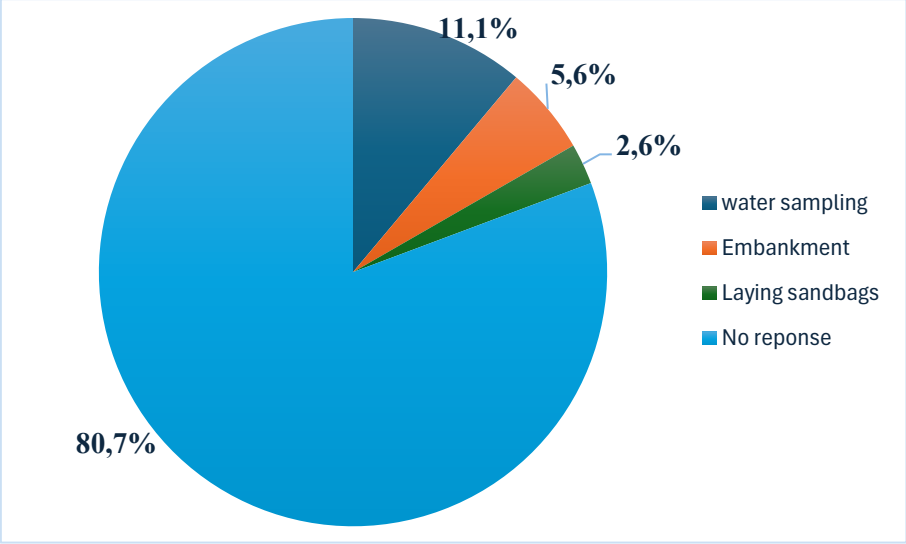


Figure 11: Methods adopted in case of flooding, Surveys authors, 2021.

Photo 2: Flooded houses in Taïba Niassene, photo authors, 2021.

Conclusion:

This study on wastewater production and management in the Nioro department reveals significant water usage by the households surveyed, characterized by production methods such as household uses (cooking, washing dishes, laundry, and bathing) and sewage (septic tank waste). Indeed, this increasing water production is practically impossible to quantify at the household level in the Nioro department due to the multitude of collection containers and the diversity of uses. Household wastewater is generally discharged into the streets, according to 82.8% of the households interviewed. A small number of households (12.4%) discharge their wastewater into uninhabited areas. The volume of wastewater discharged is strongly linked to the volume of water consumed daily by each inhabitant. This volume represents approximately 80% of daily consumption per inhabitant (M. Radoux, 1983). Also, wastewater is collected in septic tanks, soakaways, and latrines, the filling times of which vary depending on the available water supply system and household size. This indicates the complexity of the on-site sanitation practices observed among households in the department. It is further defined by the methods of evacuating wastewater from the tanks, some of which are handled by private contractors (septic tank emptying companies, etc.). *Baye-Pèle''Or*(motor pump operators). Domestic septic tank emptying is carried out using tanker

trucks (76.3%) belonging to a private company based in Kaolack at a cost between 25,000 and 30,000 FCFA. While the ‘’*Baye-Pèle’’Or*For septic tank emptying using a motor pump, the price is not fixed as it depends on the capacity of the pit and the accessibility of the site.

Overall, the diverse domestic wastewater management practices observed in the Nioro department highlight the critical issue of sanitation in Senegalese cities. The lack of public infrastructure can further increase the vulnerability of communities to hygiene-related and waterborne diseases.

References

1. Abeje W. (2000). Sustainable stormwater management through spatial management and subdivision: the case of ADDIS ABABA (ETHIOPIA): Doctoral thesis-URGC-HU, National Institute of Applied Sciences of LYON, 391p.

2. Abulude FO, Fagbayide SD (2018). Water, Sanitation and Poverty in the Changing Word. Case of Nigeria. Anallelle Uniiversiităţiiiidiin Oradea, Seriia Geografiie, Vol. XXVIII, n°1, pp. 91-96.

3. Dasylva S., Cosandey C., Sambou. S. (2003). Acuteness of water-related problems and need for "integrated" stormwater management in the area of the dune sands of Dakar, pp.57-75.

4. Dasylva S., Cosandey C., Orange D. (2002). Proposal for "integrated" stormwater management to combat water-related problems in the suburbs of Dakar, Ouagadougou, Proceedings of the Envirowater Colloquia, pp.207-218.

5. Dione Yangane. (2014). Public participation and policies for access to drinking water in rural Senegal, associations of drinking water network users in the Saint-Louis region, doctoral thesis, University of Toulouse 3 Paul Sabatier (UT3 Paul Sabatier), Doctoral School and specialty Information and Communication Sciences, 316 p.

6. GOMIS O., SOW D., SALL O. (2019). Urban environment and health in the municipality of Ziguinchor (Senegal): the example of the neighborhoods of Néma 2 and Coboda. Revue de géographie du laboratoire Leidi_ISSN 0851-2515_N°22_December 2019, pp 280-295.Revuevu.

7. Hounguè, J. (2020). Sustainable management strategies for domestic wastewater in the Commune of Porto-Novo and preservation of its lagoon from urban source pollution [Doctoral thesis, University of Abomey-Calavi]. HAL Open Science. https://theses.hal.science/tel-05128372.

8. Leila Mimeche. (2014). Feasibility study of the installation of an urban wastewater treatment plant using planted filters in an arid environment - Application to the Biskra region -, doctoral thesis, Mohamed Khider University – Biskra, Faculty of Science and Technology, 164 p.

9. Malouono Livangou, ML, & Berton Ofoueme, Y. (2018). Stormwater management issues in the peripheral districts of sub-Saharan African cities (Literature review, 2014). Environmental and Water Sciences, Public Health & Territorial Intelligence Journal (EWASH & TI Journal), 2(1), 77-85. http://revues.imist.ma/?journal=ewash-ti/,

10. Ndongo, B., Lako Mbouendeu, S., & Hiregued, JP (2015). Socio-health and environmental impacts of stormwater management in a Sahelian urban environment: the case of Maroua, Cameroon. Afrique SCIENCE, 11(1), 237-251. http://www.afriquescience.info.

11. Ngahane Emilienne Laure. (2015). Technical management of the environment of a city (Bembèrèkè in Benin), characterization and quantification of solid waste emitted, knowledge of water resources and technical approach, doctoral thesis, University of Liège, Faculty of Sciences, Department of Environmental Sciences and Management, 254 p.

12. RADOUX M. (1983). Emergency technology for urban wastewater treatment. Round Table of the Scientific Research and Policy Committee, November 22-24, Dakar.

TECHNICAL SCIENCES

ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ АЛГОРИТМІВ РОЗВ'ЯЗКУ КЛАСИЧНОЇ ТА МОДИФІКОВАНОЇ ЗАДАЧ РОЗПОДІЛУ РЕСУРСІВ ВИРОБНИЧОГО ПІДПРИЄМСТВА

Чижмотря М.О.
Державний університет «Житомирська політехніка», аспірант
Панаріна І.В.
Державний університет «Житомирська політехніка», к.т.н., доцент
Чижмотря О.В.
Державний університет «Житомирська політехніка», старший викладач
Чижмотря О.Г.
Державний університет «Житомирська політехніка», старший викладач
Дмитренко І.А.
Державний університет «Житомирська політехніка», старший викладач

COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF ALGORITHMS FOR SOLVING CLASSIC AND MODIFIED RESOURCE ALLOCATION PROBLEMS OF A MANUFACTURING ENTERPRISE

Chyzhmotria M.
Zhytomyr Polytechnic State University, Postgraduate Student
Panarina I.
Zhytomyr Polytechnic State University, PhD, Associate Professor
Chyzhmotria O.
Zhytomyr Polytechnic State University, Senior Lecturer
Chyzhmotria O.
Zhytomyr Polytechnic State University, Senior Lecturer
Dmytrenko I.
Zhytomyr Polytechnic State University, Senior Lecturer
DOI: 10.5281/zenodo.20457834

Анотація

Стаття присвячена оцінці доцільності та ефективності використання модифікованого алгоритму розв'язку задачі розподілу ресурсів виробничого підприємства в умовах серійного виробництва. На реальному прикладі продемонстровано результати роботи алгоритмів класичної та модифікованої виробничих задач. Проведено аналіз отриманих результатів для двох різних планів виробництва для одного виробничого циклу та у довільному часовому діапазоні. Доведено вплив фактору серійності у виробництві на вибір оптимального плану для отримання максимального прибутку.

Abstract

The article is devoted to assessing the feasibility and effectiveness of using a modified algorithm for solving the problem of resource allocation of a manufacturing enterprise in conditions of serial production. The results of the work of the algorithms of the classical and modified production problems are demonstrated on a real example. The analysis of the obtained results for two different production plans for one production cycle and in an arbitrary time range is carried out. The influence of the seriality factor in production on the choice of the optimal plan for obtaining maximum profit is proved.

Ключові слова: математичне програмування, ресурси підприємства, виробничий цикл, план виробництва, прибуток, серійне виробництво.

Keywords: mathematical programming, enterprise resources, production cycle, production plan, profit, mass production.

Економіко-математичне моделювання (ЕММ) дозволяє кількісно оцінювати економічні процеси, будувати прогнози та приймати оптимальні рішення. При цьому існують обмеження, зокрема складність урахування всіх чинників, залежностей і потреба в достовірних даних [1]. Більшість задач ЕММ пов'язані з розподілом певних, як правило, обмежених ресурсів. Виходячи з того, що ресурси можна використати у різній кількості або у різних пропорціях, можна отримати певний набір можливих результатів. Результат завжди оцінюється у вигляді певного критерію (прибуток, обсяг продукції, затрачений час і т.д.) або декількох з них. Таким чином, суть задач МП можна звести до пошуку такого варіанту розподілу наявних ресурсів, при якому результуючий критерій буде гарантувати найбільший економічний ефект [2].

Метою класичної задачі про оптимальне використання ресурсів виробничого підприємства є отримання максимального прибутку при наявних обмежених ресурсах на виробництво. Дана задача відноситься до задач лінійного програмування. Лінійне програмування (ЛП) – це розділ математики, в якому розглядаються методи розв'язування

екстремальних задач з лінійним функціоналом і лінійними обмеженнями, яким повинні задовольняти шукані змінні [3]. На сьогоднішній день існують алгоритми та відповідні методи розв'язання таких задач, у тому числі на основі симплекс-методу. Результатом розв'язання задачі розподілу ресурсів є певний план виробництва – кількість виробів кожного виду, які можна та потрібно виготовити для отримання максимально можливого прибутку за умови не перевищення запасів по кожному виду сировини або матеріалів. Значення прибутку при цьому і є значенням цільової функції, яке максимізується.

Для порівняльного аналізу класичної та модифікованої задач розглянемо два розв'язки реальної задачі, один з яких є оптимальним. Припустимо, що підприємство виготовляє два види продукції А1 та А2. При цьому використовуються N видів матеріалів. Відповіддю для такої задачі буде значення максимально можливого прибутку та відповідний план виробництва. Зауважимо, що для проведення порівняльного аналізу кількість видів матеріалів, витрати на виготовлення одиниці кожного виду продукції, запаси по кожному виду матеріалів ролі не грають. Результати подамо у вигляді таблиці (табл. 1):

Таблиця 1

Результати розв'язання класичної задачі розподілу ресурсів виробничого підприємства

	Розв'язок 1*		Розв'язок 2	
Вироби	А1	А2	А1	А2
Кількість виробів	**5**	**8**	**4**	**9**
Прибуток від продажу 1-ці, тис. грн.	4	2	4	2
Прибуток, тис. грн.	20	16	16	18
Загальний прибуток, тис. грн.	**36**		**34**	

* - оптимальний розв'язок

При розв'язку 1 план виробництва передбачає виготовлення відповідно 5 та 8 одиниць продукції. Прибуток при цьому складе 36 000 грн. При розв'язку 2 потрібно виготовити відповідно 4 та 9 одиниць продукції. Прибуток при цьому складе 34 000 грн. Розв'язок 1 є оптимальним, отже максимальний прибуток для даної задачі дорівнює 36 000 грн.

Для модифікованої задачі додамо до умови поняття тривалості виробничого циклу – час на виготовлення одиниці продукції. Нехай для виробу А1 це буде 4 год., а для виробу А2 – 2 год. Тепер ми можемо додатково оцінити час, необхідний для виготовлення відповідної партії виробів та отримання відповідного прибутку (табл. 2):

Таблиця 2

Визначення часу, необхідного для реалізації плану виробництва

	Розв'язок 1		Розв'язок 2	
Вироби	А1	А2	А1	А2
Кількість виробів	5	8	4	9
Тривалість вироб. циклу, год.	**4**	**2**	**4**	**2**
Загальний час на виготовлення, год.	20	16	16	18
	20		**18**	

Як видно з даних таблиці 2, для реалізації першого плану виробництва потрібно 20 год., а для другого – 18 год. За умови серійного або масового виробництва та з урахуванням часу, потрібного на виготовлення відповідної кількості виробів, розв'язок 1 може перестати бути оптимальним рішенням даної задачі.

Для перевірки даної гіпотези розглянемо довільний часовий проміжок у 180 год. Для розв'язку 1 цього часу вистачить, щоб 9 разів скористатися відповідним планом виробництва (180 / 20 = 9). При цьому прибуток становитиме 36 × 9 = 324 000 грн. Для розв'язку 2 цього ж часу вистачить, щоб скористатися відповідним планом виробництва 10 разів (180 / 18 = 10). При цьому прибуток становитиме 34 × 10 = 340 000 грн. (табл. 3):

Таблиця 3

Визначення загального прибутку за період часу 180 год.

	Розв'язок 1	Розв'язок 2
Прибуток (1 цикл), тис. грн.	36	34
Час на виготовлення (1 цикл), год.	20	18
К-ть циклів у межах ліміту 180 год.	**9**	**10**
Загальний прибуток, тис. грн.	**324**	**340**

За даними таблиці 3 робимо висновок, що перший план виробництва не забезпечує отримання найбільшого прибутку, а кращим стає другий розв'язок задачі. Стає очевидним, що в умовах серійного виробництва класичний алгоритм розв'язання задачі про оптимальне використання ресурсів виробничого підприємства не гарантує отримання дійсно оптимального плану виробництва та максимально можливого прибутку. При цьому потрібно звернути увагу й на отриману різну кількість циклів у двох розв'язках, для забезпечення яких потрібна різна кількість ресурсів. Вже зараз

стає зрозумілим, що підприємству потрібно буде забезпечувати себе ресурсами саме у кількості, якої буде достатньо для реалізації отриманого оптимального плану виробництва вже модифікованої задачі.

Також зауважимо, що для серійного виробництва також стають актуальними й способи поєднання операцій технологічного процесу. Як відомо, існують три способи поєднання операцій: послідовне, паралельне та паралельно-послідовне (змішане) [4]. У наведених прикладах, за замовчуванням, було використано поєднання послідовне. Можна припустити, що при врахуванні такого фактору як спосіб поєднання операцій технологічного процесу можна досягти ще кращих результатів, тобто отримати такий план виробництва, який зможе забезпечити отримання ще більшого прибутку. Цей фактор однозначно також має бути врахований при розробці відповідних алгоритмів та методів, а подальші дослідження з даної теми вважаємо доцільними та актуальними.

Список літератури

1. Гончаров В. В., Гончарова С. Я., Кривоблоцька Л. М. Математичне програмування: Навч. посібник. – Кіровоград, 2012. – 151 с.

2. Глушик М. М., Копич І. М., Пенцак О. С., Сороківський В. М. Математичне програмування: Навч. посібник. – Львів, 2005. – 216 с.

3. Стадник Ю. А. Економіко-математичне моделювання. Конспект лекцій. – Львів, 2017. – 44 с.

4. Прохорова В. В. Організація виробництва: Навч. посібник. – Харків, 2018. – 275 с.

КІНЕМАТИЧНА СХЕМА ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ ЗІ ЗМІЩЕНИМ КРИВОШИПОМ ЯК АЛЬТЕРНАТИВА V- ПОДІБНИМ КОМПОНУВАННЯМ

Данилян А.Г.
Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія», старший викладач

KINEMATIC DIAGRAM OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE WITH AN OFFSET CRANKSHAFT AS AN ALTERNATIVE TO V- CONFIGURATIONS

Danilyan A.
Danube Institute of the National University 'Odessa Maritime Academy', Senior Lecturer.
https://orcid.org/0000-0002-9468-275
DOI: 10.5281/zenodo.20457854

Анотація

У статті розглянуто нову кінематичну схему двигуна внутрішнього згоряння, у якій використовується колінчастий вал зі зміщеними шатунними шийками. Запропонована схема забезпечує фазове зміщення руху поршнів у сусідніх циліндрах без застосування додаткових балансувальних валів. Проведено теоретичний аналіз інерційних сил, крутного моменту та вібраційних характеристик. Порівняльна оцінка з традиційною V-подібною компоновкою показала зниження амплітуди коливань на 20–30 % та спрощення конструкції [1, 2]. Отримані результати підтверджують перспективність застосування зміщеного кривошипа у суднових та стаціонарних двигунах.

Abstract

The article investigates a new kinematic scheme of an internal combustion engine with an offset crankshaft. The proposed design provides phase shifting of piston motion in adjacent cylinders without the use of additional balance shafts. Theoretical analysis of inertial forces, torque and vibration characteristics was performed. Comparative evaluation with a conventional V-type configuration showed a reduction of vibration amplitude by 20–30 % and simplification of the design [1, 3]. The results confirm the potential of the offset crankshaft for marine and stationary engines.

Ключові слова: інерційни сили, вібрація, колінчастий вал, система балансування, коливання корпусу.
Keywords: inertial forces, vibration, crankshaft, balancing system, housing vibration.

Вступ.

V-подібні двигуни внутрішнього згоряння широко застосовуються у суднових, енергетичних та транспортних установках завдяки компактності та високій питомій потужності [2, 3]. Однак їх складна конструкція, нерівномірність інерційних сил другого порядку та підвищені вібрації зумовлюють необхідність застосування складних систем балансування

Пошук альтернативних схем, які забезпечували б подібні характеристики без зазначених недоліків, є актуальним завданням сучасного двигунобудування [4].

Постановка проблеми. Основна проблема традиційних V-подібних двигунів полягає у нерівномірному розподілі інерційних сил, що викликає згинальні навантаження на колінчастий вал, коливання корпусу та підвищений знос опор [5]. Застосування додаткових балансувальних валів частково вирішує проблему, але ускладнює конструкцію та збільшує масу двигуна.

Необхідно знайти кінематичне рішення, яке дозволило б забезпечити самокомпенсацію сил ще на етапі їх формування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження динаміки кривошипно-шатунних механізмів проводилися у працях багатьох авторів [1–4]. У роботах [5, 6] показано вплив довжини шатуна та масово-геометричних параметрів на інерційні сили. Питання фазового зсуву та рівномірності крутного моменту розглядалися у роботах [6, 7].

Проте системний підхід до застосування зміщених кривошипів як альтернативи V-подібним схемам у науковій літературі представлений недостатньо.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Невирішеними залишаються питання:

оптимального вибору величини зміщення шатунних шийок;

- впливу зміщення на сили першого та другого порядку;
- довговічності опор колінчастого вала;
- масштабування схеми для багатоциліндрових двигунів великої потужності.

Мета статті. Метою роботи є теоретичне обґрунтування кінематичної схеми двигуна зі зміщеним кривошипом, аналіз її динамічних характеристик, порівняння з V-подібною компоновкою та оцінка перспектив практичного застосування.

Виклад основного матеріалу. Запропонована схема є рядним двигуном, у якому шатунні шийки колінчастого вала зміщені відносно центральної площини на величину e. Завдяки цьому рух поршнів у сусідніх циліндрах відбувається з певним фазовим зсувом. Динаміка багатоциліндрового двигуна внутрішнього згоряння являє собою багатокомпонентну нелінійну систему, у якій механічні

процеси перетворення енергії супроводжуються складними інерційними та вібраційними явищами. Основним джерелом динамічної нерівномірності є зворотно-поступальний рух поршневих груп, який у процесі перетворення на обертальний рух колінчастого вала формує змінні інерційні сили, що залежать від кута повороту та кінематичних параметрів кривошипно-шатунного механізму [1].

У класичних багатоциліндрових схемах передбачається жорстко фіксована фазова структура, за якої кожний циліндр працює з постійним кутовим зміщенням відносно сусіднього. Така організація забезпечує періодичність робочого процесу, однак не виключає явища синфазного накладання інерційних максимумів окремих циліндрів. Саме це явище є однією з ключових причин виникнення ударних динамічних навантажень, що передаються на колінчастий вал і опорні елементи двигуна [2].

З фізичної точки зору така синфазність призводить до того, що прискорення поршневих мас у різних циліндрах збігаються за фазою, формуючи сумарні імпульсні навантаження високої амплітуди. Ці навантаження не компенсуються внутрішньою структурою системи та потребують застосування додаткових балансувальних механізмів, таких як противаги або балансирні вали. Проте такі рішення збільшують масу двигуна та призводять до додаткових механічних втрат [3].

У межах цього дослідження розглядається альтернативний підхід, заснований на введенні конструктивного фазового зміщення кривошипів δφ_i. Це зміщення являє собою заздалегідь задане відхилення кутового положення окремих кривошипів відносно базової рівномірної схеми та призводить до зміни часової структури виникнення інерційних сил. На відміну від класичної моделі, де максимуми інерційних сил збігаються у часі, введення δφ_i призводить до їх фазового рознесення. Це викликає часткове руйнування когерентності динамічних процесів і знижує ймовірність одночасного накладання пікових навантажень [6].

Фізично це означає перехід системи від синфазного режиму роботи до режиму частково декорельованих динамічних процесів, за якого енергія інерційних коливань розподіляється більш рівномірно за кутом повороту колінчастого вала.

Особливе значення має вплив фазового зміщення на формування крутного моменту двигуна. Введення фазового зміщення призводить до зниження когерентності вищих гармонік, що виражається у зменшенні резонансних ефектів і зниженні загальної вібраційної активності конструкції. Це особливо важливо в діапазонах частот, близьких до власних частот корпусу двигуна.

Слід зазначити, що ефективність запропонованого підходу суттєво залежить від величини фазового зміщення δφ_i, кількості циліндрів n та їх просторового розташування. За певних параметрів системи можливе досягнення часткового внутрішнього балансування без використання додаткових механічних пристроїв [7].

З точки зору загальної динаміки система переходить від стану періодично перевантаженого колінчастого вала до стану розподіленого в часі навантаження, що знижує амплітуду змінних напружень і підвищує довговічність конструкції.

Таким чином, запропонований підхід дозволяє розглядати фазове зміщення кривошипів як самостійний механізм керування динамічним станом двигуна, а не як допоміжний коригувальний захід [8].

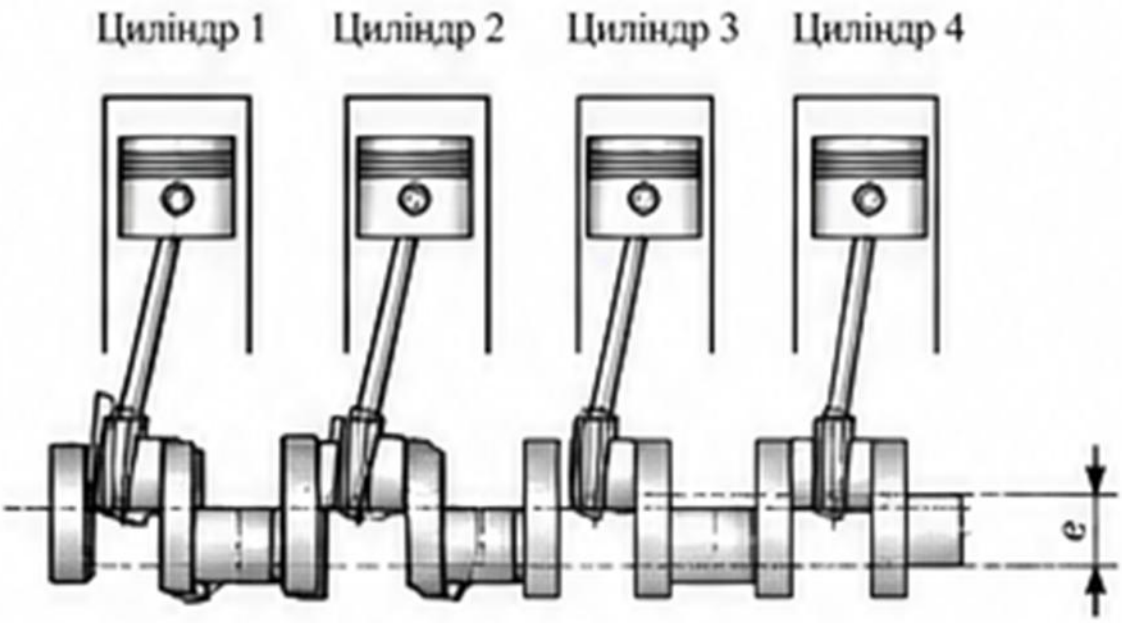


Рисунок 1. Кінематична схема двигуна зі зміщеним кривошипом.

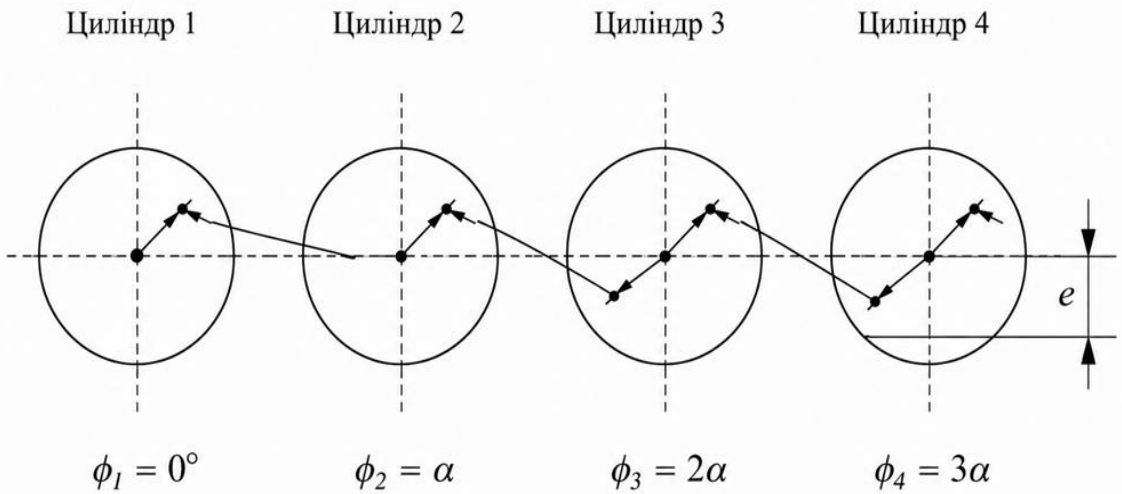


Рисунок 2. Геометрія зміщення кривошипа та фазовий зсув руху поршнів.

Переміщення поршня у циліндрі описується рівнянням:

$$x = r \cos\varphi + (r^2/l) \cos 2\varphi \quad (1)$$

де:
r — радіус кривошипа;
l — довжина шатуна;
φ — кут повороту колінчастого вала.

При зміщенні шатунної шийки на величину e ефективний радіус для кожного циліндра змінюється, що призводить до фазового зсуву прискорення поршня [5, 6].

Інерційна сила поршневої групи визначається виразом:

$$Fi = ma \quad (2)$$

де:

m — приведена маса;

a — миттєве прискорення поршня.

Розкладання прискорення на гармоніки показує наявність складових першого та другого порядку. При зміщенні кривошипа фази для сусідніх циліндрів зміщуються, що забезпечує часткову компенсацію сумарних сил [6, 7].

Рисунок 3. Порівняння сумарних інерційних сил для V-подібного двигуна та двигуна зі зміщеним кривошипом.

Крутний момент на валу визначається як сума моментів від кожного циліндра:

$$M(\varphi) = \Sigma Fti \cdot r \quad (3)$$

де:

Fti — тангенціальна складова сили в i-му циліндрі;

n — кількість циліндрів.

Фазовий зсув сприяє більш рівномірному розподілу крутного моменту та зменшенню пульсацій навантаження [6].

Для оцінки вібрацій використано метод гармонічного аналізу. Результати моделювання показують зменшення амплітуди коливань корпусу та опор на 20–30 % порівняно з V-подібним двигуном аналогічної потужності [7–9].

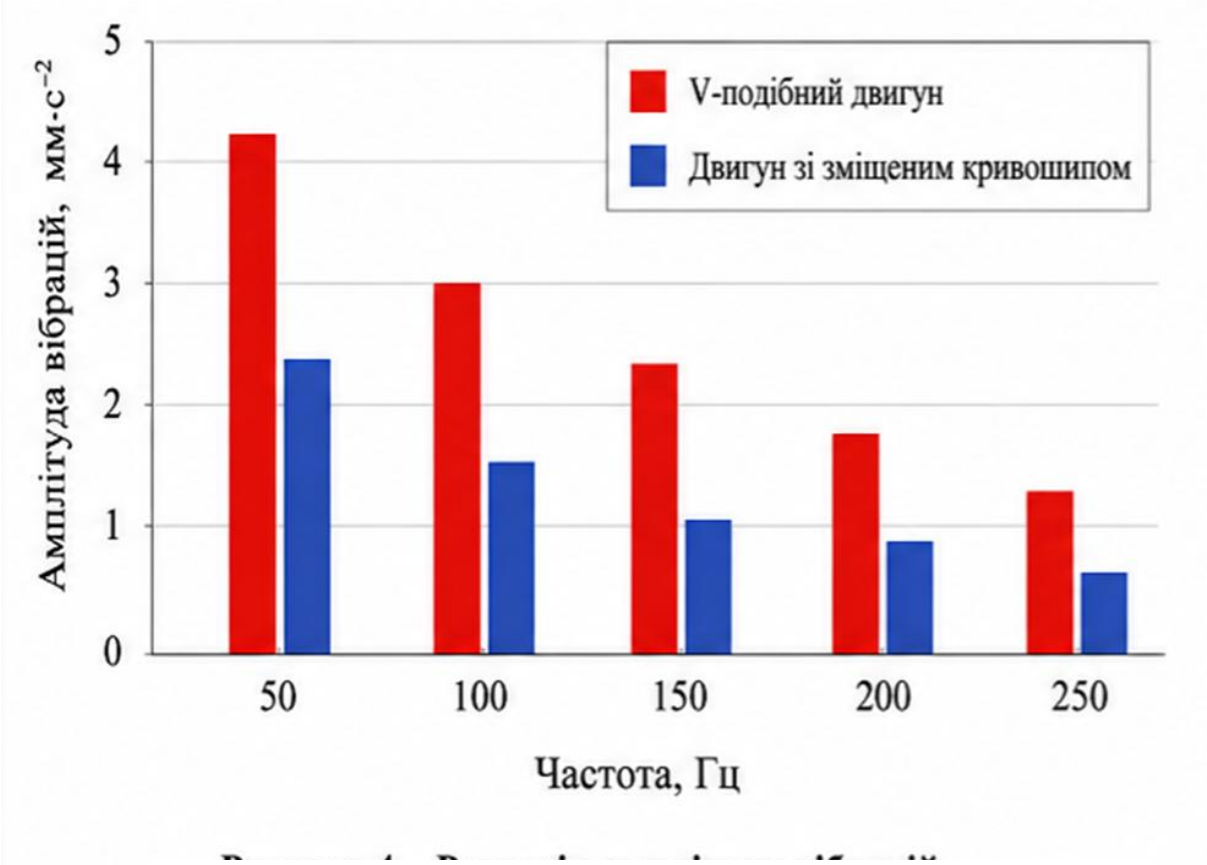


Рисунок 4. Розподіл амплітуди вібрацій залежно від частоти.

Порівняльнии аналіз конструкциних, масогабаритних та динамічних характеристик показав, що запропонована схема має такі переваги:

- простіша конструкція блока циліндрів;
- зменшення кількості деталей;
- зниження вимог до балансувальних систем;
- зменшення вібрацій та динамічних навантажень;
- підвищення експлуатаційної надійності.

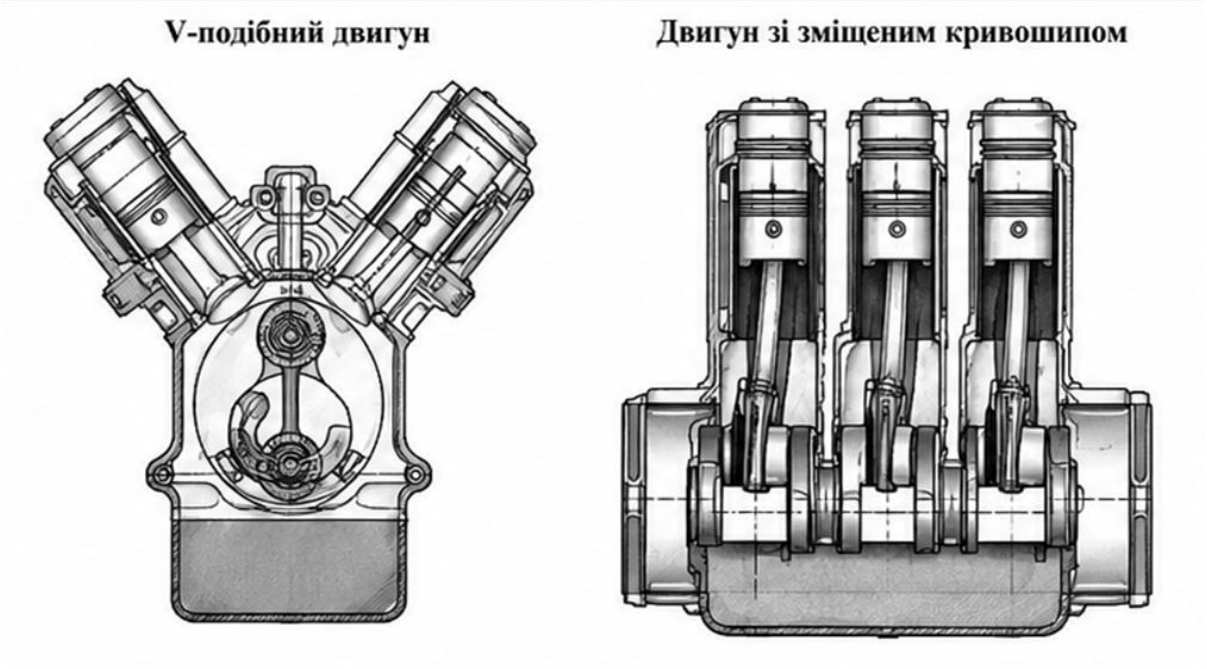


Рисунок 5. Порівняльна конструкція двигунів.

Висновки. Запропоновано альтернативну кінематичну схему двигуна внутрішнього згоряння зі зміщеними шатунними шийками колінчастого вала.

Теоретичний аналіз показав, що фазове зміщення руху поршнів дозволяє частково компенсувати інерційні сили першого та другого порядку без застосування додаткових балансувальних валів.

Моделювання підтвердило зниження рівня вібрацій і динамічних навантажень на 20–30 % порівняно з традиційною V-подібною компоновкою [7–9].

Використання зміщеного кривошипа сприяє більш рівномірному розподілу крутного моменту та зменшенню пульсацій навантаження.

Запропонована схема дозволяє спростити конструкцію двигуна, зменшити масу балансувальних елементів та підвищити надійність роботи.

Отримані результати свідчать про перспективність застосування даної схеми у суднових, енергетичних та стаціонарних двигунах.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на оптимізацію величини зміщення шатунних шийок, аналіз довговічності колінчастого вала та експериментальну перевірку роботи двигуна.

Список літератури

1. Heywood J. B. Internal Combustion Engine Fundamentals. McGraw-Hill, 1988.

2. Taylor C. F. Internal Combustion Engine in Theory and Practice. MIT Press, 1995.

3. Stone R. Introduction to Internal Combustion Engines. Palgrave Macmillan, 2012.

4. Петров А. А. Динаміка кривошипно-шатунних механізмів. — М.: Машинобудування, 2010.

5. Іванов І. А. Вплив довжини шатуна на інерційні навантаження ДВЗ // Двигунобудування. 2016.

6. Kim D. H. Effect of phase shift on torque fluctuation in multi-cylinder engines // Energy Conversion and Management. 2018.

7. Müller H. Balancing of inline engines — theory and practice // SAE Technical Paper. 2017.

8. Zhang T., Chen Y. Kinematic optimization for vibration reduction in engines // Journal of Vibration and Control. 2020.

9. Бондаренко М. Г. Зниження вібрацій суднових дизелів кінематичними методами // Суднові енергетичні установки. 2019.

10. Petrov A., Soloviev V. Advanced design of crank mechanisms for high power engines // Applied Mechanics and Materials. 2021.

THE OPERATION OF DIFFERENTIAL PIEZOELECTRIC SWITCHES AND THE TRANSMISSION OF INFORMATION OVER RADIOFREQUENCY BANDS AND FIBER OPTIC CABLES USED IN THEIR RESEARCH

Davrishova I.
Associate Professor, Doctor of Philosophy in Technical Sciences
Rzayev S.
Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan
DOI: 10.5281/zenodo.20457890

Abstract

This research work investigates the principles of operation of differential piezoelectric transducers and their integration with modern communication channels, with the aim of creating measurement systems that are highly resistant to obstacles in industrial environments. The mathematical model of the piezoelectric effect is used to analyze the ability of the differential structure to mathematically nullify general mode noise, and the effectiveness of transmitting the obtained information wirelessly through radio frequency (RF) bands and completely isolated environments using fiber optic cables is presented comparatively. Simulations conducted in the MATLAB environment graphically demonstrate that signals affected by noise can be accurately restored through differential algorithms, thereby justifying the application prospects of the proposed system in critical fields such as the oil and gas industry, medical diagnostics, and structural monitoring.

Keywords: Differential piezo-transducer, noise cancellation, radio frequency (RF) transmission, fiber-optic communication, MATLAB simulation, industrial monitoring.

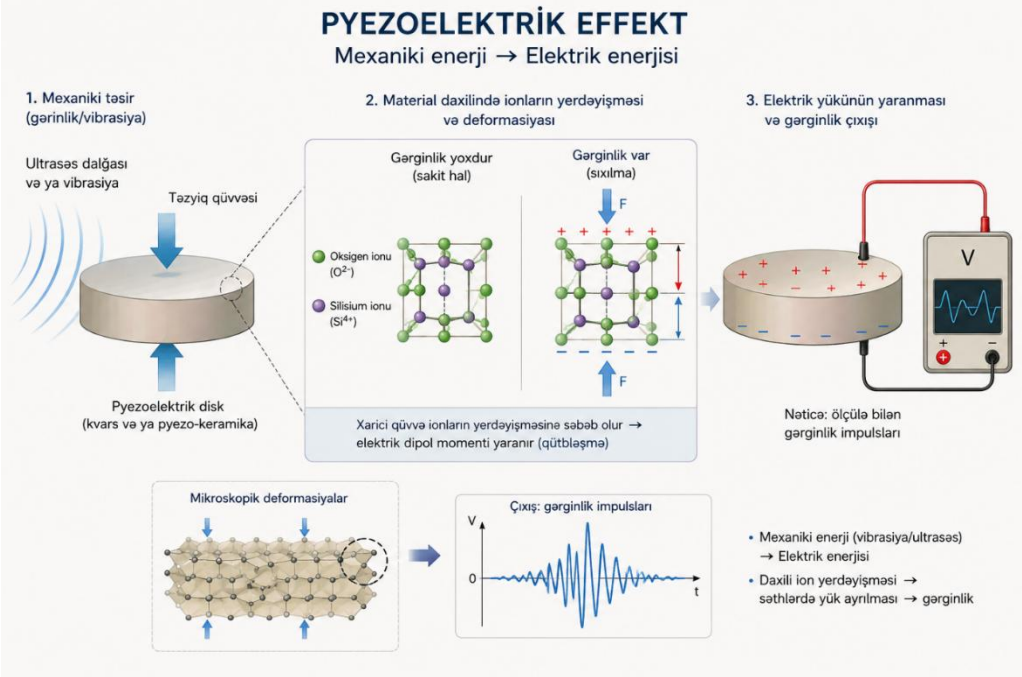
INTRODUCTION

In the modern industrial and information era, sensors have become strategic elements that convert physical quantities into digital data; thus, the decision-making mechanism of systems, from unmanned aerial vehicles to automated production lines, directly depends on the accuracy of these transducers. However, the strong electromagnetic interference and high-voltage fields present in industrial environments create significant errors in the operation of traditional measuring devices, making the implementation of noise-resistant systems in critical infrastructures, such as steel melting plants or power stations, a pressing necessity. Particularly, the sensitivity of piezoelectric sensors to external electrical noise leads to distortion of the useful signal, which is addressed by applying a differential structure where two out-of-phase outputs are processed simultaneously; through this method, for example, when measuring the vibration of a gas turbine, the noise affecting both channels is mathematically canceled out, resulting in the acquisition of only the pure mechanical vibration signal.The object of this research is the operating principles of these differential piezo-transducers, while the subject is the simulation and comparative analysis of the transmission of data obtained from these devices in a fully isolated environment via both radio frequency (RF) bands wirelessly and through fiber optic cables in the MATLAB environment.

2. THEORETICAL PRINCIPLES OF DIFFERENTIAL PIEZOELECTRIC TRANSDUCERS

2.1. Piezoelectric effect: The process of transforming mechanical energy into electrical energy in a substance

The phenomenon of the piezoelectric effect relies on the capacity of particular crystalline substances (e.g., quartz or piezo-ceramic crystals) to produce an electric charge on their surface under pressure. In this process, the applied pressure produces an ion shift within the internal structure of the substance, which leads to a transformation of mechanical energy into electrical energy. For instance, ultrasonic vibrations acting upon a piezoelectric crystal induce microdeformations that produce electric voltage impulses.



2.2. Advantages of the differential structure: Explanation of the "Common-mode rejection" principle

The differential nature is in the configuration of two piezoelements of equal specifications but placed in opposite phases and taking into account the difference in their output readings. The differential nature ensures that any environmental electromagnetic noise or temperature fluctuations that affect the two channels uniformly are filtered out because of the "Common mode rejection" rule. Thus, in case there is 50 Hz electrical interference from the surroundings in both the channels, the differential process will lead to the cancellation of such noise interference, whereas the desired mechanical signal will be reinforced because of its opposition to each other.

2.3. Mathematical model: Mathematical description of signal formation

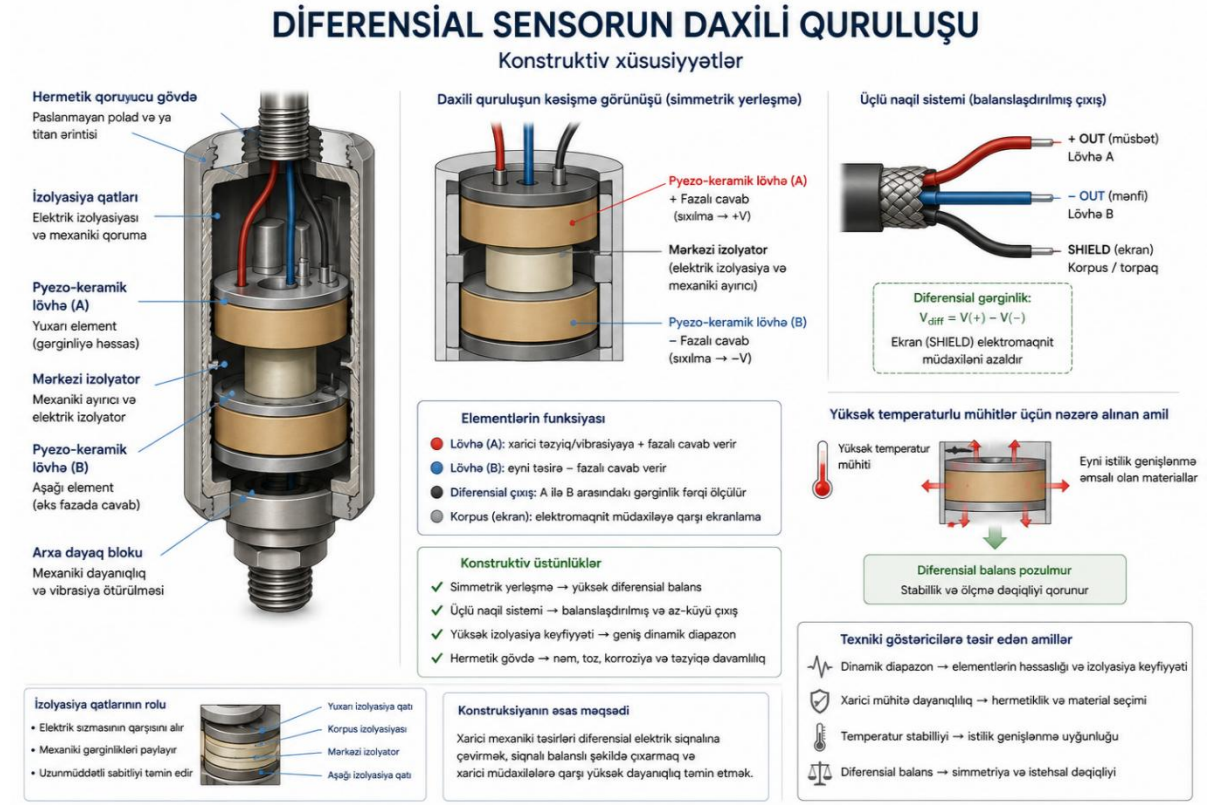
The main output equation characterizing the operation of the differential piezoelectric transducer is as follows:

$$\boldsymbol{U_{out}} = S \cdot (F_1 - F_2)$$

Explanation of the formula: where U_{out} denotes the final voltage signal obtained at the output of the converter, (s) the total sensitivity coefficient of the material and the scheme, and F_1 and F_2 denote the mechanical forces acting on the first and second piezoelement, respectively. In the differential scheme, the elements are placed in such a way that when the useful force is applied, the condition $F_1 = -F_2$ is satisfied, which serves to double the amplitude of the output signal, and to eliminate external common noises with the logic F_1 - F_1 = 0

2.4. The constructive characteristics of the converter: General information about the internal structure of the differential sensor

The inner structure of the differential sensor usually includes symmetrical placement of piezo-ceramic discs within an environmentally protected enclosure and three-wire (positive, negative, and shielding) connections that enable equal generation of the signal. The positioning geometry of the individual parts and the quality of the insulating layers are among the essential technological parameters influencing not only the dynamic capabilities of the sensor but also its immunity to outside factors. As an illustration, when using differential sensors in high-temperature environments, it is important to ensure that the thermal coefficient of the internal elements is identical to maintain the differential balance.



3. RADIO FREQUENCY (RF) CHANNELS FOR INFORMATION TRANSMISSION

3.1. Basics of RF Transmission: Modulation of the Signal in Radio Frequency Bands

The fundamental aspect of RF transmission systems is the modulation process that involves impressing an analog low-frequency signal obtained through a piezoelectric transducer on a high-frequency carrier signal. The data captured using the differential transducer can then be sent to the RF domain through either FM or digital modulation techniques (FSK) in order for the signal to propagate through electromagnetic waves over a large distance. In order to transmit vibration data wirelessly in a manufacturing plant, for example, voltage signals generated by the sensor can be encoded in the frequency of radio waves.

3.2. Analysis of Communication Bands: Which Frequency Ranges (MHz/GHz) are More Suitable for Piezo Sensors?

The chosen frequency range for communication from the piezoelectric sensors will depend upon the surrounding environment and the distance over which communication needs to take place. For instance, the 433 MHz (Sub-GHz) range is generally preferred for use within industrial buildings as the signals pass through walls and other objects more easily compared to higher frequencies, whereas the 2.4 GHz (ISM) range is preferred where higher speeds of data transfer are needed over relatively shorter distances. For example, the lower frequency bands will be selected for sensors measuring the strength of a remote bridge.

3.3. Interference Tolerance: Analysis of Electromagnetic Interference (EMI) in RF Channels

The greatest technical challenge in transmitting data via RF channels is the electromagnetic interference (EMI) created by other electrical devices, motors, and wireless networks. This interference adds noise to the signal, degrading the "signal-to-noise ratio" (SNR) and potentially causing the signal cleaned by the differential piezo transducer to become distorted again. For example, a powerful source device operating in a factory environment generates high-frequency parasitic waves; in this case, there is a need to use specific filtering algorithms or frequency-hopping spread spectrum (FHSS) systems in the RF channel.

3.4. Table: A Brief Summary of the Advantages and Disadvantages of RF Transmission

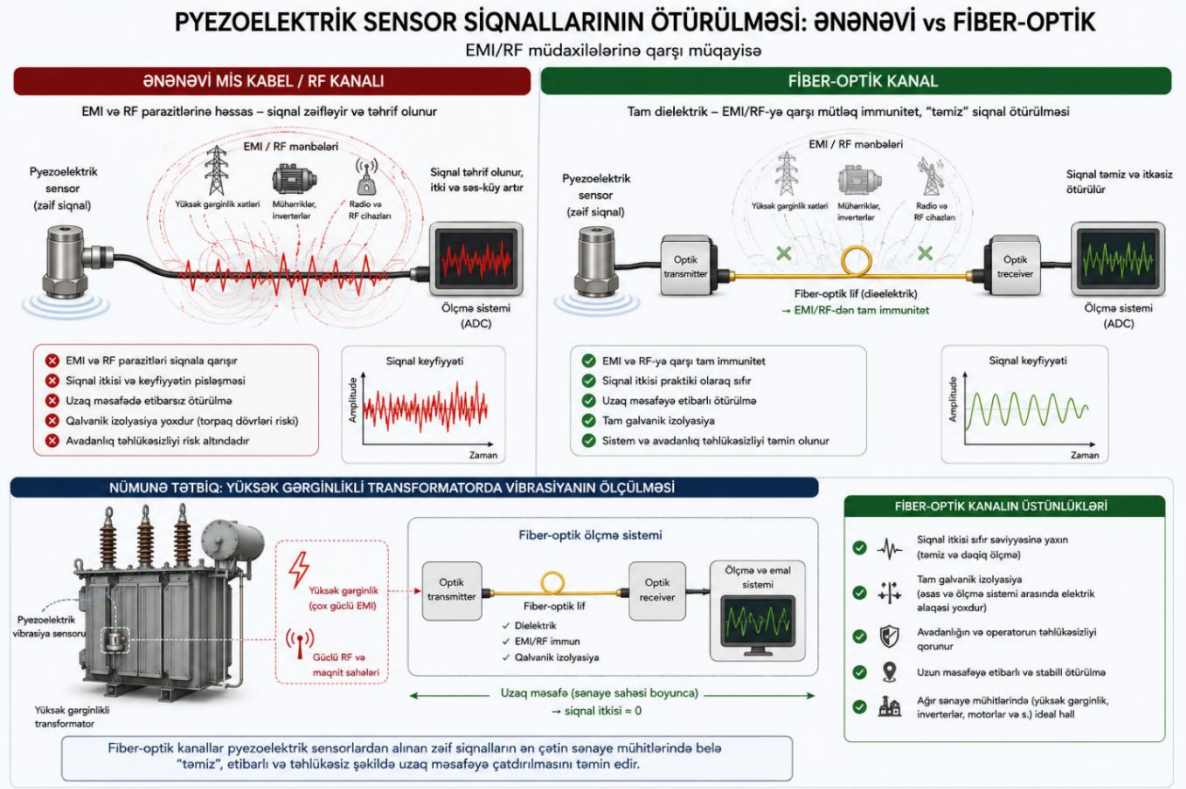
The table below presents a technical and economic analysis of the use of radio frequency channels in piezoelectric sensor systems:

Feature	Positive Aspects (Advantages)	Negative Aspects (Disadvantages)
Installation	No need for cables, high mobility.	Physical obstacles (metal, concrete) weaken the signal.
Operating Cost	Infrastructure costs (cable laying, etc.) are low.	Battery or power supply issues are relevant.
Security	There is no physical connection between the measurement point and the operator.	Electromagnetic interference (EMI) is sensitive to electromagnetic parasites.
Distance	Transmission is possible over several kilometers.	Channel congestion may occur in heavily used bands.

4. DATA EXCHANGE VIA FIBER-OPTIC CABLES

4.1. Transition to Optical Transmission: Why Fiber-Optic? (Absolute Protection Against Delay and Noise)

In contemporary industries, an abundance of EMI and radio frequency parasitic energy makes the process of transmitting small signals via piezoelectric sensors impossible by means of common copper wiring and radio-frequency channels. Because fiber optic cables consist solely of dielectric materials, they demonstrate total resistance to any kinds of electric or magnetic fields; therefore, it is possible to transmit data entirely "cleanly." In addition, for example, during the measurement of vibration inside a high-voltage transformer, fiber optics do not only make signal loss equal to zero but also provide galvanic isolation of the system because of non-electrical conductivity.



4.2. Analog-Optical Conversion: Technology for Converting Piezoelectric Signals into Light Pulses

The voltage generated by the differential piezoelectric sensors is transformed to light intensity using the electro-optic modulator, which can be either a laser diode or LED, prior to its transmission through the fiber optics cable. Here, the signal strength is coded in terms of light intensity or AM (analog mode) or the time between pulses for the latest generation of digital modes, setting records in SNR. For example, each minute deformation produced by the piezo converter is coded to pulses of light of a certain wavelength that propagate through the glass fiber at the speed of light.

4.3. Dynamics of Signal Within the Fiber: Dispersion and Attenuation Factors

Despite the fact that fiber optic cables are viewed as ideal media for such purposes, due to the relationship between the signal and atomic structure of the medium, two phenomena arise: attenuation and dispersion during the transmission of the signal. As a result of dispersion, light beams disperse and ultimately converge into each other. This, of course, will certainly affect the accuracy of vibrations data collected by the piezoelectric transducer. Nevertheless, due to the development of technologies, including the use of single-mode fiber optic cables, we can guarantee data accuracy for thousands of miles.

4.4. Formula: A Simple Dependency Expressing Signal Power Loss in Optical Fiber

The most important mathematical dependency used to assess the quality of signal transmission along the optical fiber is the equation based on the Lambert-Beer law, which shows how the output power of the signal changes with distance:

$$P(L) = P(0) \cdot 10^{-\frac{\alpha L}{10}}$$

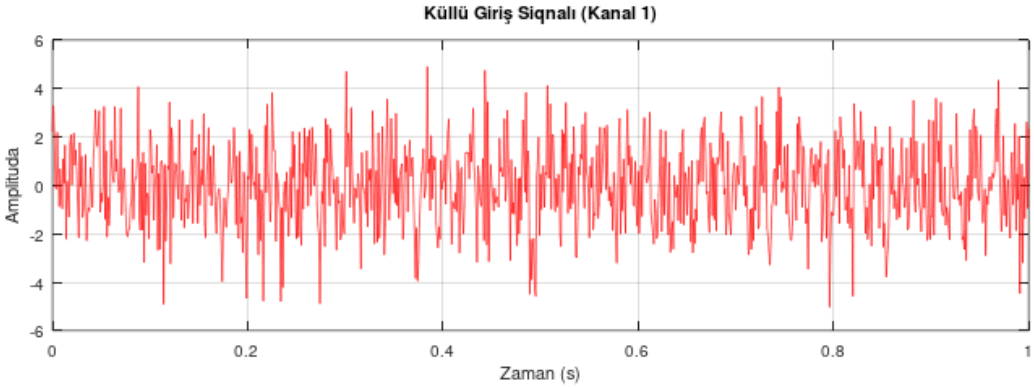
Here, P(L) represents the optical power measured at the end of the fiber (at the receiver), P(0) is the initial power given at the fiber's entrance, the specific attenuation coefficient of the fiber (in dB/km), and L is the total length of the fiber. This formula plays a critical role in the design of piezoelectric sensor systems, as it allows for precise calculations of how far the signal can be transmitted without the need for amplification.α

5. MATLAB MODELLING AND GRAPHICAL ANALYSIS

5.1. Modelling environment: Simulation parameters of the sensor system in MATLAB

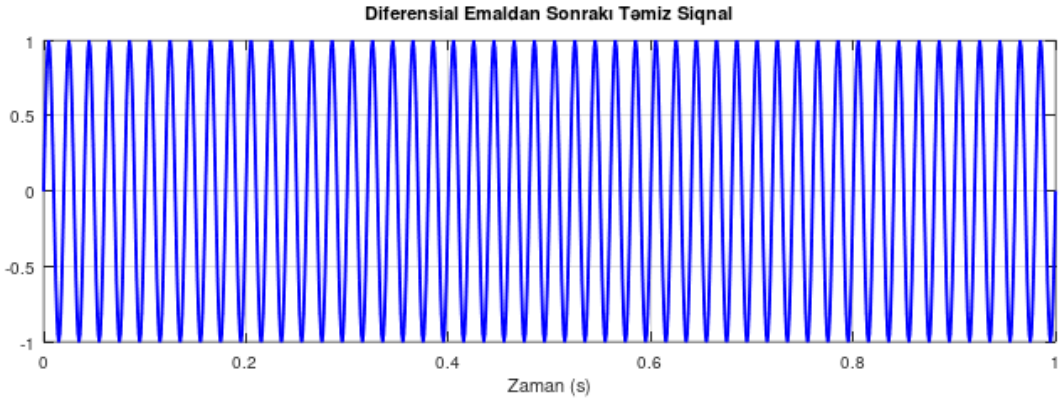
A mathematical model has been established to simulate the signals from the piezoelectric sensor and high-frequency disturbances from the environment in the MATLAB environment to investigate the dynamic characteristics of the system. During the modelling, the frequency of the useful signal is set to 50 Hz, and the discretization frequency is chosen at 1000 Hz in accordance with the Nyquist theorem, which ensures lossless recovery of the signal. This environment allows us to test noise effects that may occur in both radio frequency (RF) and fiber-optic channels at the software level.

5.2. Graph 1: Time dependence of the signal before differential processing



In the early stages of the simulation, additive white Gaussian noise, typical for an industrial setting, was included in the weak signal coming from the piezoelectric element. As can be seen from the graph, if the level of the noise exceeds that of the useful signal, then the wave carrying the information becomes fully incomprehensible, which means that it is impossible to transmit any information via radiofrequency and optical channels.

5.3. Graph 2: Output signal showing the effectiveness of differential structure in noise cleaning



The second graph depicts the "cleaned" signal obtained by subtracting signals from two anti-phase channels. Since the differential algorithm mathematically cancels the noise that affects both channels equally, an almost ideal sine wave is recovered at the output. This result shows that the data obtained from the differential piezo-converter can be transmitted to fiber-optic or RF modulators while preserving its internal structure, even in the most challenging radio-electronic environments.

5.4. MATLAB Code: Simplified code block showing the algorithm of the process

The following code reflects the logic of differential processing that forms the basis of the simulation:

Matlab

```
% Definition of parameters
t = 0:0.001:1; % Time reading (1 second)
f = 50; % Useful signal frequency (50 Hz)

% Creation of differential channels
s1 = sin(2*pi*f*t); % First piezo element (positive phase)
```

```
s2 = -sin(2*pi*f*t); % Second piezo element (negative phase)

% Adding noise (common noise affecting both channels)
noise = 1.5 * randn(size(t));
ch1 = s1 + noise; % Channel 1: Signal + Noise
ch2 = s2 + noise; % Channel 2: Signal + Noise

% Differential Processing (Subtraction operation)
clean_signal = (ch1 - ch2) / 2;

% Description of Graphs
subplot(2,1,1); plot(t, ch1, 'r'); title('Overall Input Signal');
grid on; xlabel('Time (s)'); ylabel('Amplitude');

subplot(2,1,2); plot(t, clean_signal, 'b', 'LineWidth', 1.5);
title('Clean Signal After Differential Processing');
grid on; xlabel('Time (s)'); ylabel('Amplitude');
```

The noise generated by the randn function in the code is added to both channels (ch1 and ch2) in the same way. However, since the useful signals (s1 and s2) are opposites of each other, during the subtraction operation, the noises cancel each other out (n - n = 0), while the signals add up (s - (-s) = 2s) to restore the original amplitude.

6. APPLICATION AREAS AND PRACTICAL SIGNIFICANCE

6.1. Smart Monitoring: Vibration monitoring of buildings and bridges using RF transmission.

The main goal of applying this technology is to monitor the structural integrity of large engineering structures (bridges, skyscrapers) in real-time and to detect wear in advance. In the application process, differential piezo-sensors are placed at critical points of the structure, and the obtained vibration data is wirelessly transmitted to a central control panel via RF (radio frequency) modules. This method eliminates the need for kilometers of cabling and allows for the establishment of an immediate warning system regarding the condition of the bridge during seismic activity.

6.2. Extreme Environments: Fiber-optic advantages in oil wells and radiation zones.

The secure transmission of data in oil wells and nuclear reactors, where there is a risk of high temperature, pressure, or explosion, is a crucial goal. To minimize the risk of electrical sparks in these environments, signals from the piezo-sensor are immediately transmitted to the fiber-optic line. Since light signals do not create any electrical conductivity, both fire safety is ensured, and sound and pressure waves from the depths of the well are delivered to the surface station without any external interference.

6.3. Medical and Military Applications: Remote sensing and reconnaissance devices.

The reason why the use of differential sensors in medicine and in military affairs is important is because their job is to detect minute signals amid noise (e.g., the minute movement of internal organs or faint sounds produced by machinery). These types of sensors are important in medical examinations like ultrasonics and in monitoring heartbeats, as well as in military operations where they are used in sonar systems underwater and in probes that have to work amid waves.

7. CONCLUSION

Research shows that the establishment of high-precision measurement systems in modern industrial and technological environments is one of the most reliable solutions through differential piezoelectric converters. This article deeply analyzes the physical working principles, mathematical models, and information transmission channels of these converters. The main findings of the research can be summarized as follows:

- Noise Resilience: The differential structure mathematically nullifies external electromagnetic interference due to the principle of "rejecting common-mode noise." This is a critical advantage, especially in factory and station environments where strong electric fields are present.
- Effectiveness of Transmission Channels: It has been found that in areas where flexibility and mobility are required (e.g., bridge monitoring), radio frequency (RF) channels are more effective, while fiber-optic lines provide complete isolation in extreme and explosive risk environments.
- MATLAB Proof: Conducted simulations visually confirmed that even when the noise level is higher than the useful signal, the differential algorithm is capable of recovering information without loss.
- Practical Significance: The application of the proposed system across a wide range of fields, from the oil and gas industry to medical diagnostics, enhances both technological safety and elevates the accuracy of measurements to a new level.

In conclusion, it can be noted that the integration of differential piezo-converters with modern optical and wireless communication technologies forms a solid foundation for the creation of intelligent measurement systems that meet "Industry 4.0" standards.

References

1. Mammadov, A. Sh. (2018). Fiber-optic communication systems: Technology and design. Baku: Elm Publishing House.
2. Nabiyev, R. N. (2020). Fundamentals of radio engineering and radio frequency information transmission systems. AzTU Publishing House.
3. Ismayilov, Sh. M. (2015). Piezoelectric converters and their industrial applications. Baku: Education.
4. Abdullayev, R. H. (2021). Sensor Technologies and Digital Signal Processing Environments. Baku: Çaşıoğlu.
5. Investigation Of Differential Piezoelectric Converters In Artificial Intelligence Systems. (2026). Scientific Article (Authors Group). International Journal of Advanced Engineering Research.

6. Agrawal, G. P. (2021). Fiber-Optic Communication Systems (5th ed.). New York: Wiley.

7. Tichý, J., Erhart, J., Kittinger, E., & Privratska, J. (2017). Fundamentals of Piezoelectric Sensorics: Mechanical, Dielectric, and Thermodynamical Properties of Piezoelectric Materials. Springer Science & Business Media.

8. Proakis, J. G., & Ingle, V. K. (2016). Digital Signal Processing Using MATLAB. Cengage Learning.

9. Rappaport, T. S. (2019). Wireless Communications: Principles and Practice. Pearson Education.

10. Gautschi, G. (2002). Piezoelectric Sensorics: Force, Strain, Pressure, Acceleration and Acoustic Emission Sensors, Materials and Amplifiers. Berlin: Springer.

11. Преображенский, А. А. (2015). Piezoelectric Converters in Automation Systems. Moscow: Energoatomizdat.

12. Əliyev, T. A. (2019). Signal Processing and Noise Analysis Technologies. Baku: Elm.

13. Senior, J. M., & Jamro, M. Y. (2020). Optical Fiber Communications: Principles and Practice. Pearson.

14. IEEE Standard on Piezoelectricity. (1987). ANSI/IEEE Std 176-1987. Institute of Electrical and Electronics Engineers.

15. Musayev, E. İ. (2023). Modeling of Microelectronic Devices and Radiofrequency Strips. AzTU, Textbook.

РЕГУЛЮВАННЯ В´ЯЗКОСТІ МАСТИЛА – ІННОВАЦІЙНЕ РІШЕННЯ В ПІДВИЩЕННІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СЕРЕДНЬООБОРОТНИХ ДИЗЕЛІВ

Генчев В.В.
Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія», старший викладач кафедри суднових енергетичних установок та систем

REGULATING THE VISCOSITY OF OIL – AN INNOVATIVE SOLUTION IN ADVANCED ENERGY EFFICIENCY OF MEDIUM-SPEED DIESEL ENGINES

Henchev V.
Danube Institute of the National University "Odessa Maritime Academy", assistant of the Department of Ship Power Plants and Systems
DOI: 10.5281/zenodo.20457909

Анотація

У статті викладено огляд суднової енергетичної установки, проблеми підвищення надійності, а отже і енергоефективності при експлуатації середньо оборотних дизелів (СОД) стає все більш актуальною завдяки переходу на безвахтове обслуговування суднових енергетичних установок (СЕУ), а також, в деяких випадках, допускається судновласниками роботою дизелів на сумішах циркуляційних мастил, а також неминучою можливістю попадання в мастило палива та води з паливної та охолоджувальних систем дизеля. З підвищенням в'язкості олії зростає втрата двигуном власної потужності на подолання сил тертя, погіршується прокачування і розтікання олії а також зменшується відведення олією тепла від поверхні пар (деталей), що труться.

Abstract

The article presents an overview of the ship's power plant, the problems of increasing reliability, and therefore energy efficiency in the operation of medium-speed diesel engines (MSE) are becoming increasingly relevant due to the transition to unmanned maintenance of ship's power plants (MPPs), and also, in some cases, the operation of diesel engines on mixtures of circulating oils allowed by shipowners, as well as the inevitable possibility of fuel and water from the fuel and cooling systems of the diesel engine getting into the oil. With increasing oil viscosity, the loss of the engine's own power to overcome friction forces increases, the pumping and spreading of oil worsens, and the removal of heat by the oil from the surface of rubbing pairs (parts) decreases.

Ключові слова: мастило, в'язкість, потужність, ефективність, циркуляційна система мастила, середньооборотні двигуни (СОД), форсування, тиск, температура, стабільність.

Keywords: lubricant, viscosity, power, efficiency, lubricant circulation system, medium-speed engines (MSE), boost, pressure, temperature, stability.

В'язкість олії (зазвичай кінематична в сСт) є найбільш важливим показником її експлутаційних властивостей. Чим вище в'язкість олії, тим вище міцність плівки. створюваної ним між деталями, що труться; однак, з підвищенням в'язкості масла зростає втрата потужності двигуна на подолання сил тертя, погіршується прокачування і розтікання олії, зменшується відведення олією теплоти від поверхонь тертя. Зменшення ж в'язкості знижує здатність масла, що несе, і може викликати підвищений знос деталей двигуна.

Попадання в олію 5% дизельного палива (ДП) знижує його в'язкість на 15-18 %, а температуру спалаху - на 30 %. Чим вище форсування середньооборотного дизеля, тим гірше його технічний стан, особливо циліндро-поршневої групи. Варто також відзначити, що при всіх інших рівних умовах швидкість забруднення олії в тронкових двигунах у 5-10 разів вище, ніж у крейцкопфних.

У зв'язку з вказаними в анотації проблемами було запропоновано один з напрямів підвищення надійності середньо оборотних дизелів - це введення та використання системи автоматичного регулювання в'язкості мастильного масла для забезпечення належної роботи пар, що труться, яка дозволяє контролювати в'язкість мастила в будь-який момент експлуатації, що поряд з існуючою системою контролю параметрів і захисту СОД за температурою і тиску мастила, концентрації масляних парів сприятиме підвищенню енергоефективності та надійності суднових дизелів.

Протягом останніх п'ятнадцяти років на багатьох світових суднобудівельних верфях на ряді збудованих суднах були встановлені як головні двигуни (ГД) чотиритактні тронкові середньооборотні дизелі, і в основному зі знаком автоматизації А1 або А2 у символі класу Реєстру. Відчутно зріс ступінь форсування СОД, які призначалися на суднах як головні двигуни, про неї можна судити щодо збільшення максимального тиску згоряння (Pz) до 15-18 МПа, підвищення середнього ефективного тиску (Pe) до 2 МПа і більше, а також зростання циліндрової потужності (Nц) до 1200кВт і вище.

Зі зростанням форсування СОД відповідно зростають теплові і механічні навантаження на масляний шар, що розділяє змащувальні поверхні в парах, що труться. У чотиритактних тронкових СОД змащення циліндропоршневої групи, підшипників ковзання (рамових, мотилевих) та охолодження поршнів здійснюється олією одного сорту від єдиної системи циркуляційного змащення.Пра-

вилами Регістру для головних двигунів суден зі знаком автоматизації А2 у символі класу передбачено автоматичне регулювання температури олії на вході у двигун. Ця вимога була закономірною для головних малооборотних крейцкопфних дизелів, в яких циркуляційна олія ізольована від підпоршневого простору, і не маючи контакту з проектами зношування і нагару, тривалий час зберігає стабільними свої вихідні фізико-механічні властивості, в'язкість з яких є найважливішою.

У головних чотиритактних тронкових середньооборотних дизелях, що мають єдину систему мастила циліндропоршневої групи, підшипників і охолодження поршнів, відбувається інтенсивне старіння циркуляційної олії внаслідок впливу високих температур, насичення продуктами зносу, відмитими олією з поршнів кілець нагарами, розрідження. Останнє веде до падіння в'язкості та температури спалаху парів олії. Малов'язке дизельне паливо продовжує залишатися основним сортом палива для СОД.

Несуча здатність масляного клина створюваного в підшипниках та інших парах тертя залежить насамперед від в'язкості олії. У свіжої циркуляційної олії кожному значенню температури відповідає цілком певна величина в'язкості, у циркуляційної олії, розрідженої паливом, характеристика в'язкості його суттєво спотворюється.

Є підстави стверджувати, що автоматичне підтримання температури розрідженого паливом циркуляційного масла на вході в двигун може створити лише ілюзію сприятливих умов експлуатації, оскільки фактична в'язкість циркуляційного масла відчутно відрізнятиметься від номінальної, тобто. необхідної.

Про ступінь розрідження олії паливом можна судити за результатами аналізів, які виконують берегові або суднові лабораторії. Періодичність аналізів та тривалість інтервалів між ними не забезпечують своєчасного виявлення надлишку палива в циркуляційній олії. Браковочні та граничні показники для циркуляційних масел суднових сод, узаконені стандартами підприємств. а також інструкціями з експлуатації заводів-будівельників дизелів, що допускають падіння в'язкості циркуляційних масел на 25-30 %, температури спалаху парів олії у відкритому тиглі до 170ºС. Це відповідає вмісту в олії 10% дизельного палива. На відміну від механічних домішок і води, що видаляються з циркуляційної олії централізованими сепараторами, малов'язке паливо не може бути видалено методом центрифугування в зв'язку з тим, що його щільність менше щільності масла і єдиним способом видалення палива з циркуляційного масла - це видалення через систему вентиляції картера. Однак у тих випадках, коли об'єм палива, що надходить в масло, перевищує кількість масла, що видаляється разом з парами, через систему вентиляції картера, падіння м'язкості масла в процесі накопичення палива в ньому безповоротно неминуче.

Досвід експлуатації СОД показав, що існуючий на практиці автоматичний контроль температури циркуляційної олії на вході в головний двигун, нормативні документи підприємств-виробників СОД не забезпечують надійної роботи двигунів, так як не контролюють фактичну в'язкість олії у разі розрідження її паливом, в результаті якого знижується здатність масляного клину в підшипниках.

Справедливим і закономірним буде питання: чим пояснити той факт, що провідні дизелебудівні фірми, що виробляють головні СОД для морських суден, не приділили досі такої належної уваги автоматичному регулюванню в'язкості циркуляційної олії і задовольняються автоматичною підтримкою температури на вході в двигун? Чітко сформулювавши вимоги до циркуляційних мастил, їх бракувальних та гранично допустимих показників, дизелебудівні фірми обмежилися цим і, мабуть, не зацікавлені у подальшому вдосконаленні систем циркуляційного мастила двигунів, вважаючи за мету цілком досягнутою.

Недооцінка переваг автоматичного регулювання в'язкості циркуляційної олії на вході в СОД, подібно до того як в системах паливопідготовки головних суднових двигунів судновласники змушені були свого часу відмовитися від автоматичного регулювання температури палива на вході в двигун і перейшли на автоматичне регулювання в'язкості палива, так і в системі циркуляційного мастила СОД можливий перехід на автоматичне регулювання в'язкості циркуляційного масла на вході в двигун (підшипники та інші пари тертя).

Для високонапружених сучасних СОД останніх модифікацій рекомендований діапазон температур циркуляційного масла на вході двигун становить 70-80°С. У цих межах автоматичний регулятор в'язкості може компенсувати розрідження циркуляційної олії вже за наявності 10% дизельного палива (ДП).

Доцільність запропонованого способу підвищення ефективності та надійності суднових СОД підтверджена дослідною експлуатацією двох однотипних головних СОД, один з яких забезпечений автоматичним регулятором температури циркуляційного масла на вході в двигун, інший автоматичним регулятором в'язкості.

Список літератури

1. Суднові двигуни внутрішнього згоряння та їх технічна експлуатація: Підручник / П.С. Суворов. – Одеса: НУ «ОМА», 2017. – 473 с.

2. РД 31.21.30-2007. «Правила технічної експлуатації суднових технічних засобів і конструкцій», 2007р., 369 с.

3. Черниш І., Колегаєв М. Конструкція сучасних суднових малообертових дизелів. – Київ: Фенікс, 2016. – 142 с.

ІНТЕГРАЦІЯ ECDIS, AIS ТА ARPA У СУЧАСНИХ НАВІГАЦІЙНО-ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ СУДНА: ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Крамаренко В.В.
доктор філософії, доцент кафедри навігація і управління судном,
Дунайський інститут Національного університету Одеська морська академія, м. Ізмаїл,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2703-7570
Старцев О.М.
старший викладач кафедри навігація і управління судном,
Дунайський інститут Національного університету Одеська морська академія, м. Ізмаїл,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2703-7570

INTEGRATION OF ECDIS, AIS AND ARPA IN MODERN SHIP NAVIGATION INFORMATION SYSTEMS: PROBLEMS AND PROSPECTS

Kramarenko V.
Doctor of Philosophy,
Associate Professor of the Department of Navigation and Ship Management,
Danube Institute of National University Odesa Maritime Academy," Izmail
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2703-7570
Startsev O.
Senior Lecturer of the Department of Navigation and Ship Handling,
Danube Institute of the National University "Odesa Maritime Academy", Izmail
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7631-8902
DOI: 10.5281/zenodo.20457943

Анотація

У статті досліджено особливості інтеграції електронної картографічної навігаційної системи (ECDIS), автоматичної ідентифікаційної системи (AIS) та радіолокаційної системи з функцією автоматичної прокладки цілей (ARPA) у сучасних навігаційно-інформаційних системах судна. Проаналізовано їх функціональну взаємодію, роль у формуванні ситуаційної обізнаності судноводія та вплив на безпеку мореплавства. Визначено основні проблеми інтеграції, зокрема інформаційне перевантаження, технічну несумісність, людський фактор та кіберзагрози. Обґрунтовано перспективи розвитку інтегрованих навігаційних систем, пов'язані з впровадженням концепції e-navigation, використанням штучного інтелекту та вдосконаленням підготовки морських фахівців.

Abstract

The article examines the features of integration of the Electronic Chart Display and Information System (ECDIS), Automatic Identification System (AIS), and Automatic Radar Plotting Aid (ARPA) within modern ship navigation information systems. Their functional interaction, role in forming situational awareness of the navigator, and impact on maritime safety are analyzed. The main integration challenges are identified, including information overload, technical incompatibility, human factor, and cybersecurity risks. The prospects for the development of integrated navigation systems are substantiated, particularly in the context of e-navigation implementation, the use of artificial intelligence, and improvement of maritime professionals' training.

Ключові слова: навігаційно-інформаційні системи, ECDIS, AIS, ARPA, інтеграція систем, безпека мореплавства, e-navigation, людський фактор, інтегрований місток (IBS), автоматизація судноводіння.

Keywords: navigation information systems, ECDIS, AIS, ARPA, system integration, maritime safety, e-navigation, human factor, integrated bridge system (IBS), navigation automation.

Постановка проблеми. Сучасний етап розвитку морського транспорту характеризується стрімким впровадженням інформаційних технологій у сферу судноводіння. Одним із ключових напрямів цього процесу є створення інтегрованих навігаційно-інформаційних систем судна, які об'єднують різноманітні джерела навігаційної інформації в єдине інформаційне середовище. Центральне місце в таких системах займають електронні картографічні системи ECDIS, автоматичні ідентифікаційні системи AIS та радіолокаційні системи з функцією автоматичної прокладки цілей ARPA [2; 3].

Разом із тим, незважаючи на високий рівень технологічного розвитку, проблема забезпечення безпеки мореплавства залишається актуальною. Значна кількість аварій та інцидентів на морі пов'язана не лише з технічними несправностями, але й з неефективним використанням сучасних навігаційних систем. У багатьох випадках відсутність повноцінної інтеграції між ECDIS, AIS та ARPA або неправильне трактування отриманої інформації призводить до помилок судноводіїв [7].

Таким чином, проблема полягає у необхідності комплексного аналізу процесу інтеграції основних навігаційних систем судна, визначення її недоліків та пошуку шляхів підвищення ефективності функціонування таких систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання інтеграції навігаційних систем судна активно

досліджуються як вітчизняними, так і зарубіжними науковцями. Значна увага приділяється ролі ECDIS як центрального елементу навігаційної інформаційної системи, що забезпечує відображення електронних навігаційних карт та інтеграцію даних з різних джерел [2; 3].

У наукових працях також підкреслюється важливість AIS як системи обміну інформацією між суднами та береговими службами. AIS дозволяє отримувати дані про координати, курс, швидкість та інші параметри руху суден, що є надзвичайно важливим для попередження зіткнень [4].

Не менш важливою складовою є ARPA, яка забезпечує автоматичне супроводження цілей, розрахунок параметрів зближення та прогнозування небезпечних ситуацій [5]. У сучасних дослідженнях підкреслюється, що поєднання даних AIS та ARPA дозволяє значно підвищити точність оцінки навігаційної обстановки [8].

Разом із тим, у наукових публікаціях звертається увага на проблеми інформаційного перевантаження, недостатню уніфікацію інтерфейсів та складність інтеграції систем різних виробників [9].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Незважаючи на значний обсяг проведених досліджень, ряд аспектів інтеграції ECDIS, AIS та ARPA залишається недостатньо вивченим. Зокрема, це стосується проблеми гармонізації даних, які надходять з різних джерел і можуть відрізнятися за точністю та достовірністю.

Недостатньо уваги приділяється також питанням адаптації інтерфейсів навігаційних систем до потреб користувача, що часто призводить до перевантаження судноводія інформацією [9].

Крім того, залишається актуальною проблема підготовки екіпажів до роботи з інтегрованими навігаційними системами. Багато навчальних програм не повною мірою враховують особливості взаємодії різних систем у складі інтегрованого навігаційного комплексу.

Недостатньо дослідженими є також питання використання новітніх технологій, таких як штучний інтелект, у процесі інтеграції навігаційних систем.

Мета статті. Метою даної статті є дослідження особливостей інтеграції ECDIS, AIS та ARPA у сучасних навігаційно-інформаційних системах судна, визначення основних проблем їх взаємодії та обґрунтування перспектив розвитку інтегрованих навігаційних технологій.

Виклад основного матеріалу. Інтеграція навігаційних систем є ключовим елементом сучасних концепцій розвитку судноводіння, зокрема концепції e-navigation, яка передбачає створення єдиного інформаційного середовища для забезпечення безпечного та ефективного судноплавства [6].

У цьому контексті ECDIS виступає як базова платформа, яка об'єднує дані з різних навігаційних джерел та забезпечує їх відображення у зручній для користувача формі [2]. Вона дозволяє не лише відображати електронні навігаційні карти, але й інтегрувати інформацію з AIS та ARPA, що значно підвищує рівень ситуаційної обізнаності судноводія.

AIS відіграє важливу роль у забезпеченні інформаційної взаємодії між суднами. Завдяки автоматичній передачі даних про судно AIS дозволяє отримувати інформацію, яка не може бути отримана за допомогою радіолокаційних засобів, зокрема назву судна, його тип та ідентифікаційні характеристики [4]. Однак AIS має і певні обмеження, серед яких можливість передачі недостовірних даних або відключення системи.

ARPA забезпечує автоматичне супроводження цілей та розрахунок параметрів їх руху, включаючи визначення точки найменшого зближення (CPA) та часу до неї (TCPA) [5]. У поєднанні з AIS вона дозволяє отримати більш повну та точну картину навігаційної обстановки.

Інтеграція ECDIS, AIS та ARPA у складі Integrated Bridge System дозволяє створити єдину навігаційну платформу, яка забезпечує комплексне відображення інформації та підтримку прийняття рішень [8]. Однак на практиці реалізація такої інтеграції супроводжується рядом труднощів.

Однією з основних проблем є інформаційне перевантаження судноводія. Велика кількість даних, що надходять з різних джерел, може ускладнювати їх аналіз та призводити до помилок [9]. Крім того, різні системи можуть використовувати різні формати даних, що ускладнює їх узгодження.

Суттєву роль відіграє людський фактор, оскільки ефективність використання інтегрованих систем значною мірою залежить від рівня підготовки екіпажу [10]. Недостатня кваліфікація може призводити до неправильного трактування інформації та прийняття помилкових рішень.

Окремою проблемою є кібербезпека. З розвитком цифрових технологій зростає ризик втручання у роботу навігаційних систем, що може призвести до серйозних наслідків для безпеки судноплавства.

Перспективи розвитку інтеграції навігаційних систем пов'язані з впровадженням новітніх технологій, зокрема штучного інтелекту, який дозволить автоматизувати аналіз навігаційної ситуації та підтримку прийняття рішень [6].

Важливим аспектом інтеграції ECDIS, AIS та ARPA є забезпечення коректної взаємодії між різними джерелами навігаційної інформації. У сучасних умовах судноводій отримує дані одночасно з кількох систем, які можуть мати різну точність, часову затримку та ступінь достовірності. Наприклад, інформація від AIS базується на даних, що передаються самим судном, тоді як ARPA формує інформацію на основі радіолокаційних вимірювань. Це може призводити до розбіжностей у визначенні координат та параметрів руху цілей [4; 5].

У таких умовах особливого значення набуває функція кореляції та фільтрації даних, яка реалізується в інтегрованих навігаційних системах. Сучасні IBS (Integrated Bridge Systems) використовують алгоритми об'єднання даних (data fusion), що дозволяє формувати узгоджену картину навігаційної обстановки. При цьому важливим є визначення пріоритетності джерел інформації, що залежить від умов плавання, технічного стану обладнання та рівня довіри до отриманих даних [8].

Ще одним важливим аспектом інтеграції є синхронізація часу між системами. Невідповідність часових параметрів може призводити до помилок у відображенні положення суден та їх траєкторій. Тому сучасні навігаційні комплекси використовують єдині джерела часу, як правило, на основі сигналів GNSS.

Особливу увагу слід приділити питанням людино-машинного інтерфейсу. Надмірна кількість інформації, що відображається на дисплеях ECDIS, може ускладнювати її сприйняття судноводієм. Тому сучасні підходи до проєктування інтерфейсів передбачають використання принципів ергономіки та адаптивного відображення інформації. Зокрема, можливість налаштування рівнів відображення (display modes), фільтрації цілей та використання пріоритетних сигналів тривоги дозволяє зменшити інформаційне навантаження на оператора [9].

Важливою складовою інтеграції є також забезпечення відповідності міжнародним стандартам. Міжнародна морська організація встановлює вимоги до функціонування ECDIS, AIS та радіолокаційних систем, що регламентуються відповідними резолюціями та стандартами [2]. Крім того, стандарти Міжнародної гідрографічної організації (IHO) визначають вимоги до електронних навігаційних карт та форматів даних [3].

У контексті розвитку сучасних навігаційних систем значну роль відіграє концепція e-navigation, яка передбачає інтеграцію всіх навігаційних і інформаційних систем у єдину глобальну мережу. Реалізація цієї концепції спрямована на підвищення безпеки судноплавства шляхом забезпечення доступу до актуальної та достовірної інформації в режимі реального часу [6].

Окремим напрямом розвитку є використання штучного інтелекту та машинного навчання у навігаційних системах. Такі технології дозволяють аналізувати великі обсяги даних, прогнозувати розвиток навігаційної ситуації та надавати рекомендації судноводію щодо прийняття рішень. Наприклад, сучасні системи можуть автоматично визначати потенційно небезпечні ситуації та пропонувати оптимальні маневри для уникнення зіткнень.

Не менш важливим є питання кібербезпеки інтегрованих навігаційних систем. З розвитком цифрових технологій зростає ризик несанкціонованого доступу до навігаційних систем, що може призвести до спотворення даних або порушення їх функціонування. У зв'язку з цим необхідно впроваджувати сучасні методи захисту інформації, включаючи шифрування даних, аутентифікацію користувачів та моніторинг кіберзагроз.

Крім того, важливим напрямом удосконалення інтеграції є розвиток тренажерної підготовки судноводіїв. Використання сучасних тренажерів, таких як NTPro-5000 або NAVI-Trainer 5000, дозволяє відпрацьовувати навички роботи з інтегрованими навігаційними системами в умовах, максимально наближених до реальних. Це сприяє підвищенню рівня професійної підготовки та зменшенню впливу людського фактору [7].

Таким чином, інтеграція ECDIS, AIS та ARPA є складним багаторівневим процесом, який включає технічні, організаційні та людські аспекти. Її ефективність залежить не лише від технічного рівня систем, але й від рівня підготовки персоналу, якості нормативного забезпечення та впровадження сучасних технологій.

Висновки та пропозиції. Інтеграція ECDIS, AIS та ARPA є ключовим напрямом розвитку сучасних навігаційно-інформаційних систем судна та важливим фактором підвищення безпеки мореплавства. Вона дозволяє створити єдину інформаційну платформу, що забезпечує комплексне відображення навігаційної обстановки.

Водночас існують суттєві проблеми, пов'язані з інформаційним перевантаженням, технічною несумісністю систем, людським фактором та кіберзагрозами. Їх вирішення потребує комплексного підходу, який включає вдосконалення нормативної бази, підвищення рівня підготовки екіпажів та впровадження сучасних технологій.

Перспективи розвитку інтегрованих систем пов'язані з подальшою автоматизацією, розвитком e-navigation та використанням інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень.

Список літератури

1. International Maritime Organization. SOLAS Convention. London: IMO, 1974.

2. International Maritime Organization. Performance Standards for ECDIS. IMO Resolution MSC. 232(82).

3. International Hydrographic Organization. IHO Standards for ECDIS (S-52, S-57, S-100). Monaco: IHO, 2020.

4.Automatic Identification System (AIS). URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Automatic_identification_system, 2025.

5.Automatic Radar Plotting Aid (ARPA). URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Automatic_radar_plotting_aid, 2025.

6. International Maritime Organization. E-navigation Strategy Implementation Plan. London, 2014.

7. Weintrit A. Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. CRC Press, 2013.

8. Baldauf M., Benedict K. Integrated Navigation Systems. Hamburg: WMU, 2016.

9. Porathe T. Human factors in E-navigation // Journal of Navigation. 2019.

10. Chauvin C. Human and organisational factors in maritime accidents // Safety Science. 2013.

СТАЦІОНАРНІ СИСТЕМИ ВУГЛЕКИСЛОТНОГО ГАСІННЯ ПОЖЕЖ НА СУДНАХ – НАСЛІДКИ ЗАПІЗДАЛОГО ВИПУСКУ CO_2

Лихогляд К.А.
Доцент кафедри суднових енергетичних установок та систем Дунайського інституту Національного університету "Одеська морська академія", механік-універсал першого розряду

THE SHIP`S STATIONARY CARBON ACID FIREFIGHTING SYSTEM - LEGACIES OF LATE CO_2 RELEASE

Lykhoglyad K.
Associate Professor of the Department of Ship Power Plants and Systems Danube Institute of the National University "Odesa Maritime Academy" first class marine universal engineer
DOI: 10.5281/zenodo.20457960

Анотація

Розглядаються методи використання стаціонарної системи вуглекислотного гасіння в умовах суднового машинного відділення. Необхідність використання в належний час. Крім міркувань небезпеки для життя, у сферу уваги також входить оцінка впливу на результат пожежі виду вогнегасної речовини. Застереження щодо небезпеки для життя, забезпечення своєчасного та ефективного реагування під час пожежі. Розглядаються рекомендації для ймовірної боротьби з пожежею на судні. Розглянуті оцінки ризику використання вуглекислого газу та рекомендації по необхідній дії екіпажу під час пожежі в машинному відділенні для ефективності дій.

Abstract

Methods of using a stationary carbon dioxide extinguishing system in a ship's engine room are considered. The need for use at the right time. In addition to considerations of danger to life, the scope of attention also includes an assessment of the impact of the type of extinguishing agent on the outcome of a fire. Precautions regarding danger to life, ensuring timely and effective response during a fire. Recommendations for reliable fire fighting on a ship are considered. Risk assessments of the use of carbon dioxide and recommendations on the necessary actions of the crew during a fire in the engine room for the effectiveness of actions are considered.

Ключові слова: вуглекислий газ CO_2, гасіння пожеж, вогнегасна ефективність, конвенція СОЛАС.

Keywords: carbon dioxide CO_2, fire extinguishing, fire extinguishing efficiency, SOLAS convention.

Вуглекислий газ CO_2 є однією з найпоширеніших речовин, які застосовуються для гасіння пожеж у суднових машинних відділеннях. Вуглекислий газ відрізняється високою ефективністю і відносно не дорогий, але може становити суттєву небезпеку для життя людей, оскільки гасіння пожежі з його застосуванням здійснюється за рахунок зниження вмісту кисню в атмосфері приміщення. Крім міркувань небезпеки для життя, у сферу уваги також входить оцінка впливу на результат пожежі виду вогнегасної речовини. Якщо мова зайшла про систему вуглекислотного гасіння, період часу між моментом виявлення пожежі та випуском газу часто досить великий. Не цілком чітко визначений порядок евакуації і розкладу по тривозі у поєднанні з побоюваннями екіпажів з приводу небезпеки вуглекислого газу для життя можуть стати причиною необґрунтованих затримок у випуску вогнегасної речовини. Коли незначному вогнищу загоряння дозволили розроститися, що призвело до заподіяння серйозного і коштовного збитку судну та його обладнання, а в деяких випадках – до каліцтв і загибелі людей через значне задимлення.

За відсутності в екіпажів повного уявлення про можливості та обмеження систем вуглекислотного гасіння, вони можуть виявитися розгубленими та непідготовленими до своєчасних та ефективних дій щодо ліквідації пожежі. Метою цієї публікації є роз'яснення характерних особливостей стаціонарних систем вуглекислотного гасіння, обмежень їх застосування в суднових машинних відділеннях та важливість правильного порядку їх застосування та підготовленості екіпажу.

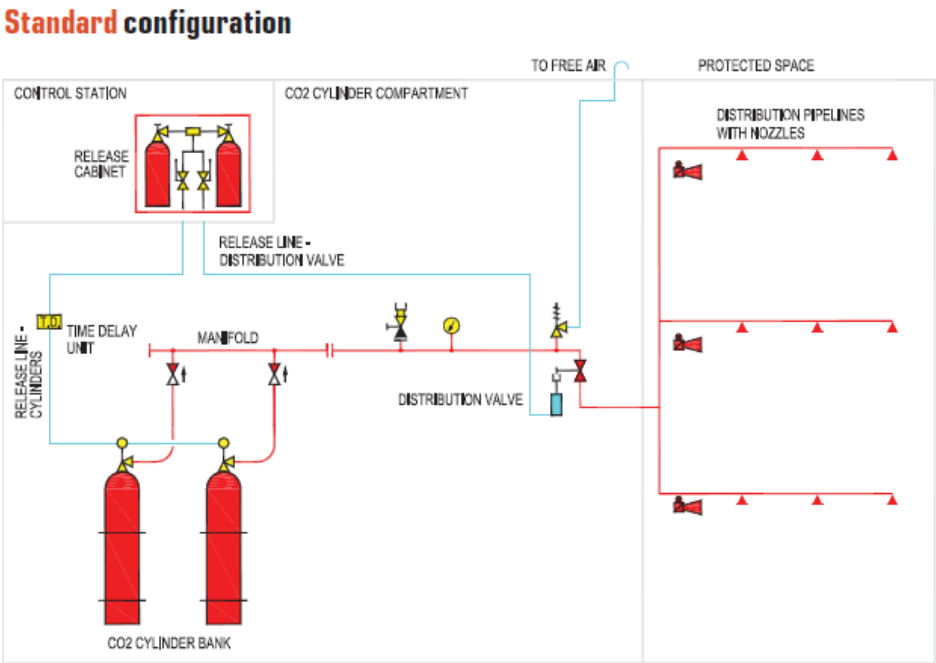


Рис.1. Стандартна схема суднової системи CO_2 вогнегасіння.

Застереження щодо небезпеки для життя

Основним фактором, на якому зосереджено увагу пожежних служб і нормативів, що розробляються ними, є перевищення концентрації вуглекислого газу певних граничних величин [1]. Деякі протипожежні служби взагалі забороняють застосування вуглекислого газу як вогнегасну речовину в приміщеннях, доступних для людей за нормальних умов роботи. Як приклад можна навести правила безпеки, що діють на прибережних бурових установках з видобутку нафти та газу в Норвегії [2]. Розроблена IMO Конвенція про охорону людського життя на морі (СОЛАС) не забороняє застосовувати вуглекислий газ у системах протипожежного захисту машинних відділень суден, або в інших приміщеннях, доступних для екіпажу за нормальної роботи. Але при цьому в ній чітко враховано небезпеку для екіпажу, і СОЛАС передбачає певні запобіжні заходи у формі наявності не менше двох роздільних, але взаємопов'язаних постів управління; сигналізації на етапі, що передує випуску CO_2; та відстрочення його випуску для евакуації команди машинного відділення. СОЛАС, втім, не допускає розміщення переносних засобів вуглекислотного гасіння в житлових приміщеннях суден з міркувань супутньої небезпеки для людей [3].

Забезпечення своєчасного та ефективного реагування під час пожежі

Реагування на пожежі в машинному відділенні може бути краще організовано та здійснюватися з більшою ефективністю за умови, що екіпаж має належну підготовку у застосуванні протипожежних систем. Основним фактором при реагуванні на виникнення надзвичайної ситуації є час, що витрачається на ухвалення рішення про введення в дію стаціонарної системи пожежогасіння, а основні міркування щодо застосування вуглекислого газу як вогнегасну речовину в суднових машинних відділеннях можуть бути узагальнено викладені таким чином:

Запізніле застосування:

При характерній для машинних відділень пожежі за участю вогненебезпечних рідин особливо важливо швидко випустити достатній обсяг вуглекислого газу, щоб уникнути посилення та поширення пожежі. Як показали розслідування, евакуація людей, збирання їх по тривозі і підрахунок тих, хто прибув під час пожежі в машинному відділенні, часто займає більше часу, ніж передбачається через те, що «…екіпаж метушився всюди, і людей було важко підрахувати» [4].

Не загерметизовані належним чином приміщення механізмів на стадії перед випуском:

Вогнегасна ефективність будь-якої газоподібної речовини може бути істотно знижена, якщо цілісність і герметичність приміщення, що обслуговується, не знаходиться на належному рівні. Неодноразово були випадки, коли ефективність системи вуглекислотного гасіння знижувалася в результаті відтоку газу через відчинені або нещільно зачинені двері, ілюмінатори або вентиляційні віддушини.

Обмежена кількість вогнегасної речовини:

Об'єм вуглекислого газу, наявний на борту, як правило, обмежений кількістю з розрахунку одноразового його випуску в приміщення, що обслуговується.

Передчасне надання доступу людям та відновлення вентиляції приміщення, що захищається:

Мабуть, одним із найнебезпечніших аспектів боротьби з пожежею є поновлення доступу людям до приміщення, у яке було випущено вуглекислий газ, після пожежі. У вуглекислого газу обмежений охолоджувальний ефект, і температура обладнання та конструкцій у машинному відділенні може зали-

шитися досить високою, особливо якщо стаціонарна система вуглекислотного гасіння була введена в дію із запізненням. Пожежники та екіпаж, що передчасно заходять у приміщення, запускають у нього повітря з достатнім для відновлення горіння вмістом кисню.

Оцінка ризику:

Конвенцією СОЛАС дозволяється застосування захисту приміщень механізмів стаціонарних систем пожежогасіння, у яких застосовується газ, піна чи вода. Деякі речовини діють більш ефективно, ніж інші залежно від конкретних умов, але використання будь-якої з них передбачає певні обмеження, які слід брати до уваги під час гасіння пожеж. Судновласникам, що діють у рамках програми поповнення свого флоту за рахунок будівництва нових суден, треба ретельно прийняти до уваги переваги та недоліки систем пожежогасіння, що є в наявності, перш ніж зробити остаточний вибір на користь будь-якої конкретної системи. Якщо йдеться про принцип дії, системи, в яких застосовуються «еквівалентні газоподібні речовини» – такі як галогенізовані вуглеці або інертні гази – цілком порівняні з системами вуглекислотного гасіння, але факторами, що приймаються до уваги при оцінці ризику та виборі певної системи, повинні бути такі:

– Інші наявні системи гасіння, в яких застосовуються газоподібні речовини, не настільки небезпечні для людини, як CO_2, але деякі з них – наприклад, галогеновуглеці здатні утворювати при гасінні пожежі небезпечні для людини побічні продукти.

– Всі системи пожежогасіння, в яких використовується газ, будь то CO_2 або будь-який інший, уразливі перед цілісністю/герметичністю приміщення, що обслуговується. Їх запас зазвичай обмежений обсягом одноразового разового випуску, і вони мають нетривалий охолодний ефект.

– Система гасіння пожежі водою у дрібному розпиленні може бути введена в дію набагато швидше, оскільки не вимагає закриття дверей та лазів, перекривання вентиляційних каналів, відключення вентиляції та евакуації людей перед введенням у дію.

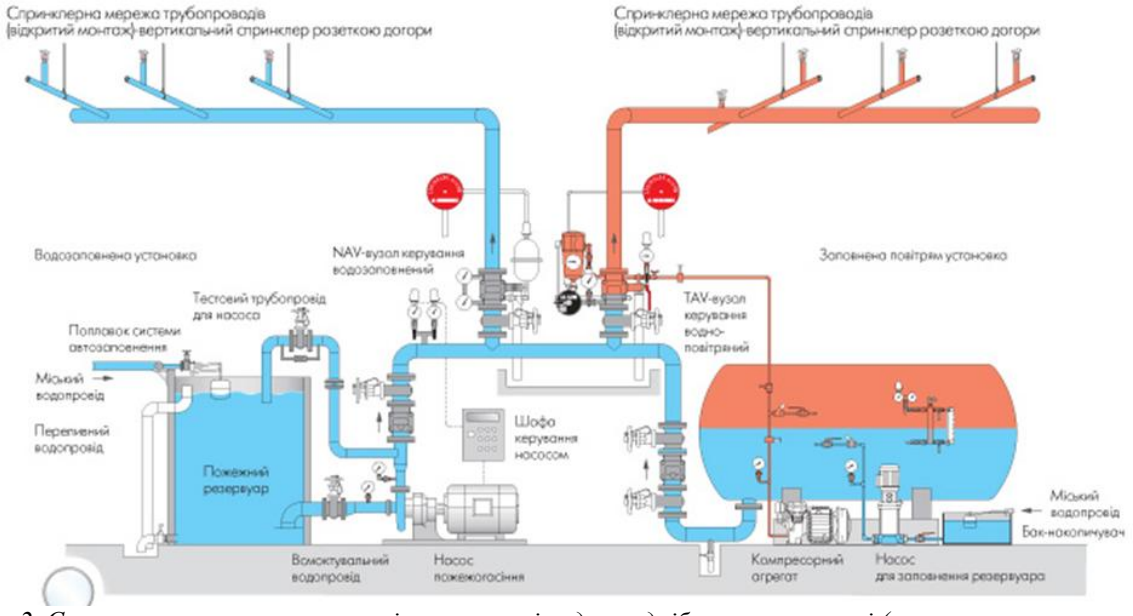


Рис.2. Схема установки системи гасіння пожежі водою у дрібному розпиленні (спринклерна система).

– Час, що витрачається на гасіння пожежі водою у дрібному розпиленні, може перевищувати час гасіння пожежі газоподібними речовинами, але водяна завіса у дрібному розпиленні ще й охолоджує приміщення та осаджує дим. Крім того, вода як засіб гасіння доступна, як правило, в необмеженій кількості.

– Системи гасіння, що використовують виключно газ, забезпечують «об'ємний захист», тоді як на ефективність дії системи водяного гасіння можуть впливати розміри осередку пожежі; перешкоди, що затуляють вогнище пожежі від води; наявність вентиляції та конфігурація приміщення або відсіку, що захищається.

Рекомендації

Судновласникам при підборі та експлуатації систем вуглекислотного гасіння наполегливо рекомендується з'ясування ризиків, пов'язаних з їх застосуванням за допомогою розробки докладних процедур, що не допускають багатозначного тлумачення, належної підготовки екіпажу та відповідного технічного обслуговування.

На деяких судах є об'ємні та розлогі системи якості та безпечного управління, але в них не вистачає подробиць, що допомагають екіпажу діяти в аварійних ситуаціях (зокрема, під час пожежі).

Рекомендації для ймовірної боротьби з пожежею на судні такі:

– Проведення пожежних навчань на регулярній основі в умовах максимально наближених до реальності.

– Порядок дій в аварійних ситуаціях повинен містити достатні подробиці, що дозволяють екіпажу злагоджено діяти на всіх етапах надзвичайної ситуації та включати:

- заходи, які вживаються перед випуском вуглекислого газу;
- відомості про час, який слід витримати перед тим, як робити спроби відновлення доступності та вентиляції приміщення;
- системи та засоби зв'язку, як внутрішньосудновий, так і з компетентними береговими структурами.

– Порядок евакуації та збору по тривозі має містити просту, але надійну систему підрахунку людей, що дозволяє уникнути будь-яких непорозумінь щодо місцезнаходження членів екіпажу;

– Інструкції з експлуатації, схеми трубопроводів, інструктивні плакати та позначення елементів системи вуглекислотного гасіння повинні відповідати фактично встановленій системі.

– Член екіпажу, який зобов'язаний вводити в дію системи вуглекислотного гасіння, повинен бути обов’язково згаданий у розкладі по тривогах.

– Порядок поточного технічного обслуговування системи вуглекислотного гасіння повинен відображати рекомендації виробника та ґрунтуватися на положеннях циркуляра IMB MSC.1Circ.1318.

– Періодичне обслуговування системи вуглекислотного гасіння повинно здійснюватися тільки силами уповноваженого на те обслуговуючого персоналу.

– Слід проводити регулярні перевірки, щоб переконатися, що шляхи евакуації та аварійні виходи з машинного відділення чітко позначені та не захаращені будь-якими перешкодами.

– Неодмінно слід підкреслювати небезпечні властивості вуглекислого газу, а характер підготовки та обміну досвідом між членами екіпажу повинен створювати загальне розуміння можливостей, обмежень та небезпек, властивих специфіці суднової системи вуглекислотного гасіння.

Загальними для всіх суднових систем пожежогасіння є вимоги Правила II-2/10 СОЛАС: «… придушувати і швидко гасити пожежу в осередку виникнення». У той же час, як показує досвід, супутні ризики, пов’язані з введенням в дію стаціонарної системи вуглекислотного гасіння, і необхідність попередньої евакуації з машинного відділення перед введенням в дію часто спричиняють суттєві затримки випуску вуглекислого газу.

Список літератури

1. The International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers, 1995 (STCW 1995), 1998 edition (IMO Sales No. 938E)
2. NORSOK S-001 Technical Safety Standard
3. International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, as amended (SOLAS1974) (IMO Sales No. 110E)
4. Fire prevention and fire fighting in engine rooms. (IMO electronic edition 2000)

ОБРОБКА ПАЛЬНОГО ТА ВИКОРИСТАННЯ ЙОГО НА БОРТУ СУДНА

Палагін О.М.
Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія», кандидат технічних наук, доцент кафедри суднових енергетичних установок та систем,механік першого розряда

FUEL PROCESSING AND USE ON BOARD SHIPS

Palagin O.
Danube Institute of the National University "Odessa Maritime Academy", Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Marine Power Plants and Systems, first class marine engineer
DOI: 10.5281/zenodo.20457983

Анотація

Мета цієї статті полягає в тому, щоб нагадати судновласникам та екіпажам суден про деякі важливі моменти, пов'язані з обробкою палива на судні, та наголосити на важливості підготовки членів екіпажу в галузі запобігання виникненню експлуатаційних проблем та пошкодження двигунів. Розглянуті рекомендації по зберіганню палива в суднових танках, режими фільтрації палива.

Abstract

The purpose of this article is to remind shipowners and ship crews of some important points related to fuel handling on board ships and to emphasize the importance of training crew members in the prevention of operational problems and engine damage. Recommendations for fuel storage in ship tanks, fuel filtration regimes are discussed.

Ключові слова: Обробка палива, осади і залишки, бункер, кларифікація, пурифікація.

Keywords: Fuel processing, sediments and residues, bunker, clarification, purification.

Несправності двигунів через паливо не є новою проблемою. У проміжку часу від моменту завантаження на борт до спалювання паливо має перекачуватися, підігріватися, фільтруватися та очищуватися для досягнення характеристик, передбачених виробником двигуна. Залежно від якості палива, що поставляється на судно, ці процеси можуть бути складними, що може приводити до виходу з ладу двигунів та виникненню різноманітних проблемам їх експлуатації, що зумовлено низькою якістю палива або недоліками у його підготовці на судні. Більшість випадків виходу двигунів з ладу пов'язана з використанням важкого палива (HFO), а більшість випадків пошкодження двигунів спричинена абразивними частинками. Також трапляються проблеми, що виникають внаслідок змішування несумісних палив та засмічення фільтрів шламом.

Мета цієї статті полягає в тому, щоб нагадати судновласникам та екіпажам суден про деякі важливі моменти, пов'язані з обробкою палива на судні, та наголосити на важливості підготовки членів екіпажу в галузі запобігання виникненню експлуатаційних проблем та пошкодження двигунів.

Тенденція до використання рідких палив зі зниженим вмістом сірки (малосернистих палив або LSFO) зумовлює зміни в технології очищення палива, внаслідок чого на судна надходить важке паливо погіршеної якості [1]. Змішування різних компонентів з метою оптимізації вмісту сірки може призвести до таких побічних ефектів, як нестабільність, несумісність, утруднення займання та згоряння, а також підвищення рівня вмісту абразивних частинок. Необхідність частих переходів з одного сорту палива на інший очевидно сприяє збільшенню ймовірності помилок. Тому дуже важливого значення набуває знання екіпажем властивостей і характеристик палива, що поставляється, і обмежень, які накладаються можливостями установок попередньої обробки палива в суднових умовах.

Берегові лабораторії якості палива видали низку рекомендацій, але внаслідок змін у правилах та нормативах, що регламентують як якість палива, так і експлуатаційні заходи на судні, виникла необхідність упорядкувати деякі з них. Нижче наведено узагальнення рекомендацій, щодо обробки та підготовки палива на борту. Особливо важливі ці поради для членів екіпажу та молодших механіків, які щойно прибули на судно.

Зберігання рідкого палива на судні. Танки та цистерни.

Навіть при повній відповідності палива специфікації, проблеми з ним можуть виникнути на ранній стадії його зберігання на судні. Осади і залишки, що накопичилися в танках для зберігання палива, можуть забруднити найсвіжіше паливо, а змішування різних сортів палива може спричинити їхню несумісність[1]. Важливими запобіжними заходами в таких випадках є наступні:

– Регулярно проводьте очищення та промивання резервуарів для зберігання, відстійників та розподільних цистерн. У перших двох категоріях ємностей відбувається осідання твердих частинок, які можуть збовтатися під дією штормової погоди і потрапити в сепаратори, іноді їх концентрація здатна перевищити граничні значення, встановлені стандартом ISO 8217 [2], цим міжнародним стандартом встановлюються вимоги до рідкого палива нафтового походження, призначеного для використання у суднових двигунах та котлах, до проходження відповідної обробки перед використанням. Очищення та миття танків зберігання палива часто виконується під час знаходження судна на судноремонтному заводі, тому слід розглянути можливість

запровадження практики їх більш частого очищення.

– Регулярно осушуйте відстійні/розподільні цистерни для видалення води та шламу, бажано щодня.

– За можливості приймайте бункери в порожні танки. Зверніть увагу на те, що змішування двох марок стабільного палива не гарантує утворення сумісної суміші, а після змішування може істотно зрости вміст абразивних частинок або утворитися осад.

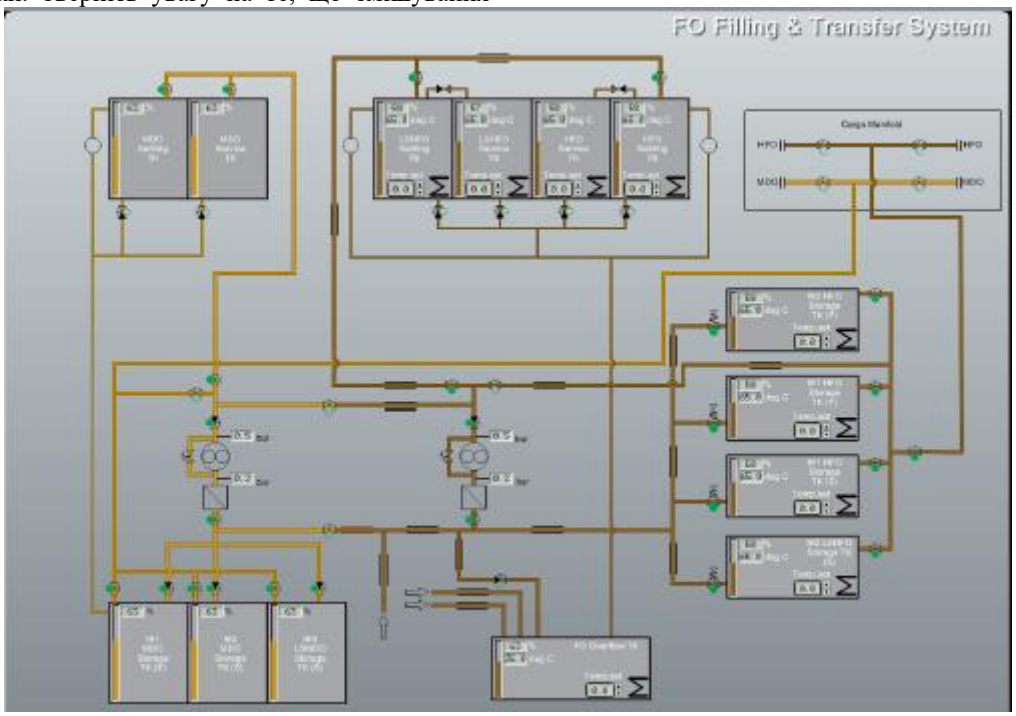


Рис1. Типова схема розміщення паливних танків на судні

– Якщо уникнути змішування не вдається, проведіть аналіз сумісності палив. Слід застосовувати швидкі, надійні та перевірені методи тестування в таких самих лабораторіях і, по можливості, утримуватися від використання нового палива до отримання результатів експертизи. Ретельно дотримуйтесь рекомендацій, що надходять разом із результатами експертизи.

– У разі браку часу та наявності сумнівів щодо сумісності та ймовірного осідання паливної суміші скористайтеся хоча б найпростішими аналізами, які можна провести на борту судна (необхідні для їх проведення набори мають бути обов'язково в наявності на борту). Утримайтеся від використання змішаного палива під час виконання найважливіших операцій, плавання в обмежених умовах та при маневруванні під час входу та виходу з порту.

– Розгляньте варіант отримання бункера одразу після прибуття в порт (якщо це дозволяють обставини, характер вантажу та осадка судна), а не перед відходом з порту. Таким чином, можна залишити запас часу на проведення аналізів чи експертизи палива до того, як судно залишить порт, а в ідеальному варіанті – і отримати результати експертизи до відходу.

Сепарування палива

Навіть якщо важке паливо, прийняте на борт, відповідає стандартам ISO 8217, з ним можуть виникнути проблеми експлуатаційного характеру, якщо установка для обробки та підготовки палива, особливо сепаратори важкого палива не працюють належним чином або не підтримується у належному технічному стані. Для досягнення ефективності видалення абразивних частинок та інших сторонніх речовин і матеріалів, присутніх в паливі (іржа, пісок, пил, вода), слід ретельно дотримуватись рекомендацій виробників сепараторів. До важливих запобіжних заходів відносяться такі:

– Підтримка температури важкого палива на вході в сепаратор на рівні +98ºC. Ефективність сепарації палива значною мірою залежить від температури палива на вході, і навіть найменше зниження погіршить якість сепарування. До деяких найбільш поширених причин погіршення якості очищення палива належать протікання змійовиків підігрівачів, неправильні налаштування датчиків температури та несправності в системах контролю.

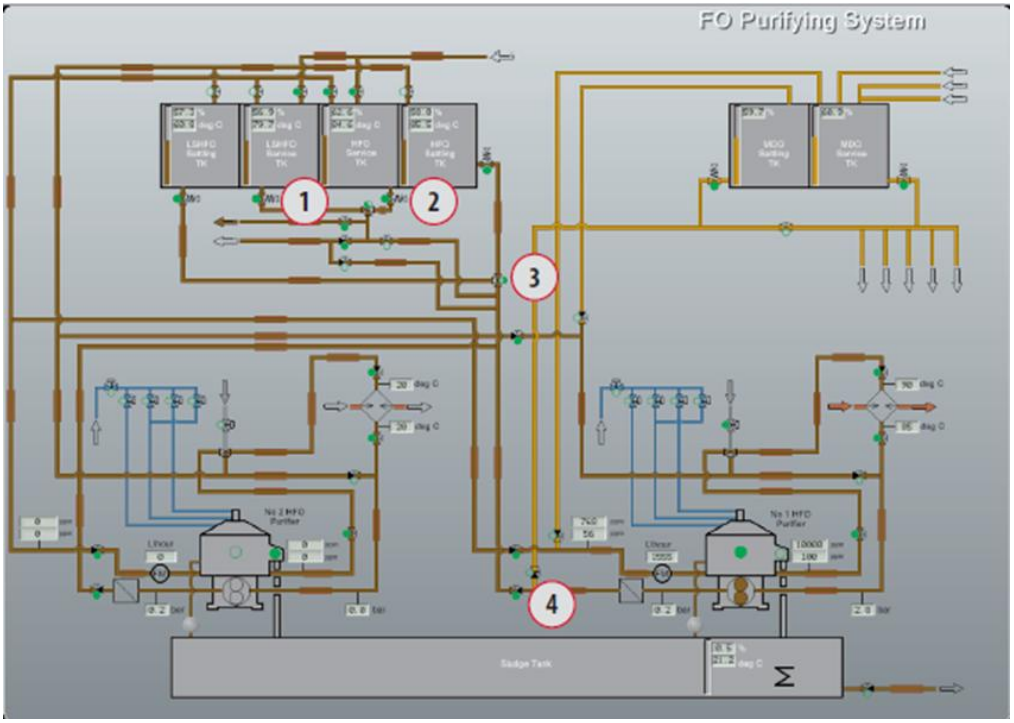


Рис2. Типова схема сепарації палива на судні

– Правильне визначення характеристик потоку та вибір гравітаційного диска. Чим довше паливо перебуває в сепараторі, тим краще воно очищується. Якщо в конструкції сепараторів не передбачені гравітаційні диски, рекомендується ввести в дію всі наявні на борту сепаратори важкого палива та експлуатувати їх у паралельному режимі, задавши відповідну величину подачі. Якщо сепаратори оснащені гравітаційними дисками, їх слід включати в послідовний режим, коли перший сепаратор працює на освітлення (кларифікацію), а другий – на очищення (пурифікацію), але при мінімальній характеристиці потоку. У цих типах сепараторів особливо важливе значення має правильний вибір гравітаційних дисків, а заміна дисків повинна проводитися з урахуванням характеристики щільності палива, що обробляється.

– Технічне обслуговування сепараторів слід проводити у суворій відповідності до інструкцій виробників і, наскільки це можливо, використовувати лише запасні частини та комплектуючі, схвалені виробником. Крім того, перевірку сепараторів слід доручати сервісним механікам та проводити її з регулярною періодичністю. Однією з найпоширеніших причин несправностей сепараторів є неправильне їх складання після очищення та промивання [3].

– Перевіряйте ефективність роботи сепараторів та чистоту паливної цистерни шляхом відбору проб палива з системи перед сепаратором і на виході з нього, а також у безпосередній близькості до двигуна. Відібрані зразки слід надсилати на експертизу до визнаної лабораторії. Перевірку сепараторів слід проводити не рідше одного разу на рік.

Рис3. Судновий паливний сепаратор.

Перехід із однієї марки палива на іншу

Судна, що здійснюють плавання в районах із різними вимогами до вмісту сірки в паливі, повинні

дотримуватися ретельно розробленого порядку переходу з одного виду палива на інший. Недостатнє знання заходів, потрібних у певних ситуаціях, може призвести до відмови двигуна, тому порядок дій слід відпрацювати перед тим, як судно прибуде в район зі обмеженими умовами плавання. Особливо це стосується суден, у яких перехід із однієї марки палива на іншу не виконується регулярно. Ризик виникнення ситуації несумісності палива, коли важке паливо змішується з низькосірчистими очищеними паливами або навіть з легким дизельним паливом, може виявитися досить високим, і тому вимагає особливої уважності.

Висновок

З метою забезпечення безпеки судна, екіпажу та вантажу, а також з міркувань зниження витрат і скорочення періодів виведення судна з експлуатації через несправність двигуна, важливо, щоб судновласники та оператори зосередили свою увагу на якості підготовки та обробки палива в суднових умовах. Вся судова машинна команда має проходити належне та регулярне навчання. Особливо важливо, щоб вахтові механіки були в повному обсязі ознайомлені з обладнанням та апаратурою, задіяними у підготовці та обробці палива на судні, а також із заходами в рамках регулярного технічного обслуговування.

Зміни в правилах і нормативах можуть призвести до зміни процедур. Тому навчання та обмін досвідом мають особливе значення для вироблення екіпажем навичок щодо виявлення причин виникнення проблем, пов'язаних з паливом, та внесення виправлень до чинного порядку обробки та підготовки палива для зменшення можливих втрат.

Список літератури

1.Корнилов Э.В., Бойко П.В., Смирнов В.П., Технология топливоподготовки на судне. Одесса: Студия Негоциант 2006. 246 стр.

2. Fuel standard for marine residual fuels ISO 8217 2017 dan-bunkering.com

3. D.A.Taylor, Introduction to marine engineering 1996, Elsevier , 383

VOL.1

№114/2026

Znanstvena misel journal

The journal is registered and published in Slovenia.

ISSN 3124-1123

The frequency of publication – 12 times per year.

Journal is published in Slovenian, English, Polish, Russian, Ukrainian.

The format of the journal is A4, coated paper, matte laminated cover.

All articles are reviewed

Edition of journal does not carry responsibility for the materials published in a journal.

Sending the article to the editorial the author confirms it's uniqueness and takes full responsibility for possible consequences for breaking copyright laws

Free access to the electronic version of journal

Chief Editor – Christoph Machek

The executive secretary - Damian Gerbec

Dragan Tsallaev — PhD, senior researcher, professor

Dorothea Sabash — PhD, senior researcher

Vatsdav Blažek — candidate of philological sciences

Philip Matoušek — doctor of pedagogical sciences, professor

Alicja Antczak — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

Katarzyna Brzozowski — PhD, associate professor

Roman Guryev — MD, Professor

Stepan Filippov — Doctor of Social Sciences, Associate Professor

Dmytro Teliga — Senior Lecturer, Department of Humanitarian and Economic Sciences

Anastasia Plahtiy — Doctor of Economics, professor

Znanstvena misel journal

Slovenska cesta 8, 1000 Ljubljana, Slovenia

Email: info@znanstvena-journal.com

Website: www.znanstvena-journal.com